



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



## TRABAJO FIN DE GRADO

---

# ESTUDIO DE ACONDICIONAMIENTO DE LA RM-333 ENTRE EL P.K. 3+900 Y EL P.K. 5+500 EN ÁGUILAS (MURCIA)

---

Autor: Cristian González Padilla

Tutor: Álvaro Cuadrado Tarodo

Cotutor: David Llopis Castelló

---

Curso: 2020/2021

Fecha: Noviembre 2020

# CONTENIDO

## I. MEMORIA

## II. ANEJOS

1. Anejo I: Cartografía
2. Anejo II: Geología y geotecnia
3. Anejo III: Situación actual
4. Anejo IV: Análisis de tráfico
5. Anejo V: Evaluación de impacto ambiental
6. Anejo VI: Estudio de alternativas
7. Anejo VII: Firmes
8. Anejo VIII: Estudio hidráulico
9. Anejo IX: Señalización y balizamiento
10. Anejo X: Relación con los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de naciones unidas

## III. PLANOS

## IV. RELACIÓN VALORADA

## TRABAJO FINAL DE GRADO

# ESTUDIO DE ACONDICIONAMIENTO DE LA RM-333 ENTRE EL P.K. 3+900 Y EL P.K. 5+500 EN ÁGUILAS (MURCIA)

Autor: Cristian González Padilla

Tutor: Álvaro Cuadrado Tarodo

Cotutor: David Llopis Castelló

# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. LOCALIZACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>4. CARTOGRAFÍA.....</b>	<b>3</b>
4.1. Levantamiento topográfico.....	4
4.1.1. Descripción del trabajo.....	4
4.1.2. Implantación de bases, toma de datos y representación gráfica.....	4
<b>5. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA.....</b>	<b>4</b>
5.1. Geología de la zona.....	4
5.2. Geotecnia de la zona.....	4
<b>6. SITUACIÓN ACTUAL.....</b>	<b>5</b>
6.1. Características geométricas.....	5
6.1.1. Trazado en planta.....	5
6.1.2. Trazado en alzado.....	7
6.1.3. Sección transversal.....	8
6.2. Intersecciones y giros a izquierdas.....	8
6.3. Velocidades.....	8
6.4. Consistencia.....	8
6.5. Siniestralidad.....	9
6.6. Plan de seguridad vial.....	9
<b>7. ANÁLISIS DE TRÁFICO.....</b>	<b>9</b>
7.1. Datos de tráfico.....	9
7.2. Aumento del tráfico en el periodo estival.....	10
7.3. Análisis del tráfico.....	10
7.4. Nivel de servicio.....	10
<b>8. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.....</b>	<b>11</b>
8.1. Criterios para selección de alternativas.....	11
8.2. Análisis de alternativas.....	11
8.3. Estudio comparativo.....	13
<b>9. FIRMES.....</b>	<b>14</b>

9.1. Dimensionamiento del firme.....	14
9.2. Aprovechamiento del firme existente.....	14
<b>10. ESTUDIO HIDRÁULICO.....</b>	<b>15</b>
10.1. Caracterización climática de la zona.....	15
10.2. Zonas de riesgo de inundación.....	15
10.3. Estudio hidrológico.....	17
10.3.1. Cuencas definidas.....	17
10.3.2. Periodo de retorno.....	18
10.3.3. Cálculo de caudal.....	18
10.4. Drenaje Longitudinal.....	18
10.4.1. Comprobación de funcionamiento.....	19
10.5. Drenaje Transversal.....	19
10.5.1. Comprobación de funcionamiento.....	20
<b>11. SEÑALIZACIÓN Y BALIZAMIENTO.....</b>	<b>24</b>
11.1. Señalización vertical.....	24
11.2. Señalización horizontal.....	24
11.3. Balizamiento.....	24
11.4. Barreras de seguridad.....	25
11.5. Disposición de señalización.....	25
<b>12. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....</b>	<b>26</b>
<b>13. EXPROPIACIONES.....</b>	<b>26</b>
<b>14. RESUMEN DEL PRESUPUESTO ESTIMADO.....</b>	<b>27</b>
<b>15. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>16. REFERENCIAS.....</b>	<b>27</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El siguiente estudio de acondicionamiento se localiza en la carretera RM-333 entre P.K. 3+900 y el P.K. 5+500 en el término municipal de Águilas en la Región de Murcia. Dicha carretera es conocida también como “Acceso Este a Águilas” y parte de la red de carreteras de la Región de Murcia, que en su origen se denominaba N-332. Después pasó a ser nombrada N-332-3 y, finalmente, a principios del 2011, pasó a ser gestionada por la Región de Murcia, denominándose RM-333.

Esta vía presenta múltiples deficiencias de trazado, que serán abordadas y valoradas en este estudio, relacionadas principalmente con unos parámetros geométricos inadecuados en planta, así como una insuficiente seguridad vial en el tramo. Todo esto, sumado a la alta Intensidad Media Diaria (6.142 veh/día), especialmente en la época de primavera-verano debido al turismo costero de la zona, provocan la necesidad de la realización del presente estudio.

## 2. OBJETO

El objeto de la ejecución del presente estudio es examinar la problemática del tramo actual de la RM-333. Para ello, se estudiarán diversos parámetros y condicionantes, como son: las características geométricas del trazado en planta y alzado, la velocidad de la vía y su consistencia, la siniestralidad, el tráfico que circula por esta y las intersecciones de la misma.

A partir de este análisis se propondrán diferentes alternativas de trazado, todas ellas adaptadas a la normativa vigente, con el fin de resolver la problemática que identificada en el análisis previo de la vía existente. Con todo esto, y mediante criterios justificados se seleccionará una de las alternativas para disponer un nuevo trazado. Todos aquellos estudios citados anteriormente, se hallan recogidos en la presente memoria, alcanzando mayor grado de detalle en cada uno de los anejos correspondientes.

## 3. LOCALIZACIÓN

La Figura 1 muestra la localización de la carretera de estudio. Como ya se ha citado anteriormente, el tramo de la RM-333 analizado comienza en el P.K. 3+910 y finaliza en el P.K. 5+474. Dicho tramo atraviesa el espacio protegido de “Cuatro Calas” y se encuentra en el término municipal de Águilas, junto a la playa de Calarreona, al suroeste de la localidad Aguiléña. Más concretamente, se encuentra encuadrada en la parte suroeste de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y limitando por su zona este con la provincia de Almería, en la Comunidad Autónoma de Andalucía.



Figura 1: Situación y emplazamiento. Fuente: Propia.

## 4. CARTOGRAFÍA

Con respecto a la cartografía utilizada en el presente estudio, se realizó un levantamiento topográfico, el cual se describe en detalle en el Anejo de Cartografía. Esta información se complementó con datos de Ortofotografía disponibles de manera gratuita por Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Para la obtención de la superficie de la zona se utilizaron los datos relativos al Modelo Digital del Terreno (MDT). Toda esta información se encuentra más detallada en el Anejo de Cartografía.



#### 4.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico realizado, consistió en medir el trazado actual de la RM-333, además de las obras de drenaje transversal y de los accesos a la vía. Como resultado, se obtuvieron las coordenadas UTM ETRS-89 Huso 30, que permitieron realizar los planos del levantamiento topográfico de la zona.

Así, con los datos logrados en la medición, se obtuvieron las coordenadas de los puntos del trazado de la vía y se han generado los planos georreferenciados objeto de la medición.

##### 4.1.1. Descripción del trabajo

Más concretamente, el trabajo que se ha realizado consiste en un levantamiento topográfico de la zona con estación referencia GNSS (sistema global de navegación por satélite) de Lorca, tomándose un vértice geodésico de referencia para comprobar y verificar las coordenadas.

Para realizar este levantamiento, se desplazó a la zona y se procedió al montaje y conexión satelital del receptor GNSS TOPCON HIPER VR, mediante el TOPCON FC-500. A continuación, se procedió a la toma del punto de referencia, en este caso el vértice geodésico, y posteriormente se realizó el levantamiento topográfico del trazado de la vía.

##### 4.1.2. Implantación de bases, toma de datos y representación gráfica

Para la georreferenciación del levantamiento realizado se han utilizado la estación referencia GNSS de Lorca, como se comentaba anteriormente. En esta georreferenciación se ha empleado el sistema de representación geodésico ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) y la proyección Universal Transverse Mercator (UTM).

## 5. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

Cabe destacar que se ha realizado una descripción física y una geológica del recorrido del trazado a estudiar, la cual se encuentra disponible en el Anejo de Geología y geotecnia.

La geomorfología de la zona de estudio es de topografía ondulada, con desniveles no muy acusados, desde 23 metros hasta los 4 metros sobre el nivel del mar. Los cortes transversales de la vía a la topografía tampoco son muy acusados, siendo la transición entre desmontes y terraplenes suave y sin grandes cambios de inclinación.

Con relación a la hidrología de la región de estudio, debido a su insignificante afección en la elaboración de este trabajo, se ha obviado en esta memoria. No obstante, puede ser consultada en el Anejo citado anteriormente.

Respecto a la peligrosidad sísmica para la zona de la obra, se puede observar que la aceleración sísmica básica es igual o mayor a 0,04g y por tanto se deberán tener en cuenta los posibles efectos. Así, la aceleración sísmica de cálculo obtenida es de 0,1024m/s. La justificación de los calculos se encuentra en el Anejo correspondiente.

#### 5.1. Geología de la zona

La zona se encuentra en el centro-este de la Hoja 997 del Mapa Geológico de España del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Con respecto a la geología local de la zona, se encuentra en la cuenca neógeno-cuaternaria depositada sobre la zona interior de las Cordilleras Béticas. La zona de Águilas se rodea del complejo Alpujárride. Esta cuenca neógena se encuentra dentro de las cuencas del sur plio-cuaternarias marinas y continentales, estando presentes ambas en el tramo de carretera de estudio.

La estratigrafía de la zona se corresponde a:

- Neógeno
  - Alternancia de margas, areniscas y arenas del Mioceno Superior.
  - Areniscas fosilíferas muy compactas para los Pliocenos.
- Cuaternario
  - Sedimentos de pie de monta, con cantos heterométricos.

#### 5.2. Geotecnia de la zona

Para la caracterización geotecnia de la zona, los ensayos considerados se han reutilizado de una campaña en una zona cercana con características geológicas similares, disponiéndose de dos calicatas. No obstante, en la traza se disponen de dos materiales: Suelo y Roca.

El análisis y clasificación del suelo, realizado, según el artículo 330 del PG-3 (Ministerio de Fomento, 2003), arroja que el suelo del trazado es Suelo Seleccionado y haciendo uso de la norma 6.1-IC (Ministerio de Fomento, 2003) se dispone de un Suelo Seleccionado 2. La roca, que se encuentra entre el P.K. 0+415 al P.K. 0+630, está compuesta por conglomerados y areniscas, con una excavabilidad de voladura.

Con respecto a los desmontes que se encuentra a lo largo del trazado, en la tabla 1 se dispone de un inventario de taludes. No obstante, la estabilidad de la mayoría es buena.

	Material	Situación	Talud (V:H)	Altura	Estabilidad
T-1	Conglomerados y arenas, más concretamente depósitos expansivos de margas diatómicas del Neógeno y Cuaternario	Inicio P.K. 0+415 Final P.K. 0+620 Margen izquierdo	2/3	0-3m	Buena
T-2	Conglomerados y areniscas	Inicio P.K. 0+630 Final P.K. 0+670 Margen izquierdo	1/5	0-4,5m	Buena
T-3	Conglomerados y areniscas	Inicio P.K. 0+700 Final P.K. 0+750 Margen izquierdo	1/5	0-3m	Buena
T-4	Conglomerados y areniscas	Inicio P.K. 0+950 Final P.K. 1+020 Margen izquierdo	1/5	0-4m	Buena
T-5	Conglomerados y areniscas	Inicio P.K. 0+860 Final P.K. 0+980 Margen derecho	1/5	0-3m	Buena
T-6	Conglomerados y arenas, más concretamente depósitos expansivos de margas diatómicas del Neógeno y Cuaternario	Inicio P.K. 1+040 Final P.K. 1+080 Margen derecho	3/2 a 2/3	0-2m	Buena, Estado meteorizado
T-7	Conglomerados y arenas, más concretamente depósitos expansivos de margas diatómicas del Neógeno y Cuaternario	Inicio P.K. 1+500 Final P.K. 1+564 Margen derecho	3/2 a 2/3	0-2m	Buena, Estado meteorizado

Tabla 1: Inventario de taludes. Fuente: Propia.

Respecto al aprovechamiento que se puede realizar de los materiales de la traza, tenemos suelo seleccionado y roca. El suelo seleccionado puede ser aprovechable en la construcción del nuevo trazado, mientras que la roca, debido a su gran dureza, es difícil de aprovechar en obra y salvo orden contraria será llevada a vertedero autorizado.

## 6. SITUACIÓN ACTUAL

Ahora se procede a comentar el estado actual del trazado, en función de diversos criterios que se muestran a continuación. No obstante, respecto al tramo, es una carretera C-40 del Grupo 3, interurbana y convencional, que dispone de una calzada única, con un carril por sentido de circulación de 3 metros sin prácticamente arcén.

### 6.1. Características geométricas

La carretera RM-333, entre los P.K. 3+910 y P.K. 5+474, se define como un tramo interurbano de carretera convencional, con calzada única de un carril por sentido de circulación de 3 m y sin prácticamente arcén. Dado que no se conoce la velocidad de proyecto, se deduce la velocidad de proyecto a partir del radio mínimo (Ver Tabla 4), en este caso 40 m.

No obstante, de acuerdo con la Norma 3.1-IC (Ministerio de Fomento, 2016), el radio asociado a la menor velocidad de proyecto (40km/h) es de 50 m. Puesto que el radio mínimo obtenido en el trazado es de 40 m, inferior al mínimo por normativa, se dispone de una velocidad de proyecto de 40 km/h para la vía actual (C-40).

Por tanto, se procede con las comprobaciones del cumplimiento de la actual normativa de trazado considerando una Velocidad de Proyecto de 40km/h.

#### 6.1.1. Trazado en planta

Para rectas, se ha comprobado la longitud mínima y máxima; para curvas circulares, el radio mínimo y radios consecutivos; y, finalmente, para clotoides se han calculado los criterios I, II y III, obteniéndose los parámetros máximo y mínimo, y comprobando si cumplen o no. Para cada elemento del tramo, se ofrecen en primer lugar sus datos geométricos (Tabla 2 y Tabla 3) y, a continuación, el cumplimiento o no de los criterios anteriormente mencionados (Tabla 4).

Estado de alineaciones en Planta							
Número de elemento	Tipo de elemento	P.K. inici	P.K. fina	Longitud (m)	Angulo de giro (g)	Radio (m)	A
1	Recta	000.00	374.62	374,624			
5	Recta	463.56	482.00	18,441			
9	Recta	540.31	544.46	4,152			
13	Recta	603.52	632.61	29,096			
17	Recta	694.49	702.02	7,527			
21	Recta	756.82	764.22	7,403			
25	Recta	829.16	835.31	6,147			
29	Recta	903.20	940.85	37,647			
33	Recta	1042.42	1182.38	139,963			
37	Recta	1300.84	1367.11	66,272			
41	Recta	1539.16	1563.89	24,723			

Tabla 2: Datos geométricos de rectas. Fuente: Propia.



Estado de alineaciones en Planta							
Número de elemento	Tipo de elemento	P.K. inici	P.K. fin	Longitud (m)	Angulo de giro (g)	Radio (r)	A
3	Curva circular	410.62	427.56	16,932	10,779	100	
7	Curva circular	509.00	513.31	4,315	3,6626	75	
11	Curva circular	569.46	578.52	9,053	5,7634	100	
15	Curva circular	657.82	669.28	11,461	6,0804	120	
19	Curva circular	727.23	731.61	4,387	2,3275	120	
23	Curva circular	789.22	804.16	14,935	9,508	100	
27	Curva circular	838.16	900.34	62,182	28,2758	140	
31	Curva circular	971.47	1011.79	40,322	64,1739	40	
35	Curva circular	1235.01	1248.21	13,194	4,4208	190	
39	Curva circular	1420.68	1485.59	64,91	39,355	105	

Tabla 3: Datos geométricos de curvas circulares. Fuente: Propia.

Estado de alineaciones en Planta		Curvas Circulares		
Número de elemento		Rmin	Cumple?	Peralte (Tabla 4.5)
3		50	Si	7
7		50	Si	7
11		50	Si	7
15		50	Si	7
19		50	Si	7
23		50	Si	7
27		50	Si	7
31		50	No	Radio menor de 50
35		50	Si	7
39		50	Si	7

Tabla 5: Comprobación de la Norma para curvas circulares. Fuente: Propia.

Estado de alineaciones en Planta		Rectas						
Número de elemento	Tipo de alineación	Lmin	Lmax	Cumple?	L recta interm	R max	R min	Cumple?
1	-	-	-	-	18.44	145.12	71.54	Si
5	Configuración en C	111	668	No	4.15	105.49	55.77	Si
9	Configuración en S	56	668	No	29.10	145.12	71.54	Si
13	Configuración en C	111	668	No	7.53	176.83	84.15	Si
17	Configuración en S	56	668	No	7.40	176.83	84.15	Si
21	Configuración en S	56	668	No	6.15	145.12	71.54	Si
25	Configuración en C		668	No	37.65	208.54	96.77	No
29	Configuración en S	56	668	No	139.96	50.00	33.69	No
33	Configuración en S	56	668	Si	66.27	287.80	128.31	No
37	Configuración en C	111	668	No	24.72	153.05	74.69	No
41	-	-	-	-				

Tabla 4: Comprobación de la Norma para rectas. Fuente: Propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 4, ninguna de las rectas del tramo cumple con las longitudes máximas y mínimas establecidas por la norma. No obstante, respecto a la longitud de recta intermedia entre dos curvas circulares, se puede comprobar que lo cumplen todas menos las últimas 4.

La Tabla 4 muestra cómo todas las curvas circulares presentes en la vía estudiada cumplen con la normativa de acuerdo con el radio mínimo, a excepción de una de ellas, la de radio 40 m. Esta se encuentra entre el P.K. 0+970 y el P.K. 1+010, y al disponer de un radio de 40 m, la norma no permite su diseño, dado que no se conciben curvas con un radio menor a 50 m.

La siguiente curva con el radio más pequeño es la que se da entre el P.K. 0+509 y el P.K. 0+513, con un radio de 75 m. A priori, ambas curvas serán las más conflictivas y objeto de acondicionamiento de este estudio.

Por último, la Tabla 6 presenta las características geométricas de las clotoides presentes en el tramo de estudio. Ninguna de las ellas cumple con las restricciones de la actual normativa de trazado, como se puede apreciar en la Tabla 7.

Estado de alineaciones en Planta							
Número de elemento	Tipo de elemento	P.K. inici	P.K. fin	Longitud (m)	Angulo de giro (g)	Radio (m)	A
2	Clotoide	374.62	410.62	36	11,4592	100	60
4	Clotoide	427.56	463.56	36	11,4592	100	60
6	Clotoide	482.00	509.00	27	11,4592	75	45
8	Clotoide	513.31	540.31	27	11,4592	75	45
10	Clotoide	544.46	569.46	25	7,9577	100	50
12	Clotoide	578.52	603.52	25	7,9577	100	50
14	Clotoide	632.61	657.82	25,208	6,6867	120	55
16	Clotoide	669.28	694.49	25,208	6,6867	120	55
18	Clotoide	702.02	727.23	25,208	6,6867	120	55
20	Clotoide	731.61	756.82	25,208	6,6867	120	55
22	Clotoide	764.22	789.22	25	7,9577	100	50
24	Clotoide	804.16	829.16	25	7,9577	100	50
26	Clotoide	835.31	838.16	2,857	0,6496	140	20
28	Clotoide	900.34	903.20	2,857	0,6496	140	20
30	Clotoide	940.85	971.47	30,625	24,3706	40	35
32	Clotoide	1011.79	1042.42	30,625	24,3706	40	35
34	Clotoide	1182.38	1235.01	52,632	8,8174	190	100
36	Clotoide	1248.21	1300.84	52,632	8,8174	190	100
38	Clotoide	1367.11	1420.68	53,571	16,2403	105	75
40	Clotoide	1485.59	1539.16	53,571	16,2403	105	75

Tabla 6: Datos geométricos de clotoides. Fuente: Propia.



Estado de alineaciones en Planta		Curva de acuerdo							
Número de elemento	▼	I)	II)	III-1)	III-2)	III-3)	Amin	Amax	Cumple?
2		68,52	54,77	33,33	58,86	46,01	33,33	68,52	No
4		68,52	54,77	33,33	58,86	46,01	33,33	68,52	No
6		57,34	47,43	25,00	47,43	30,65	25,00	57,34	No
8		57,34	47,43	25,00	47,43	30,65	25,00	57,34	No
10		68,52	54,77	33,33	58,86	36,91	33,33	68,52	No
12		68,52	54,77	33,33	58,86	36,91	33,33	68,52	No
14		76,47	60,00	40,00	67,48	41,95	40,00	76,47	No
16		76,47	60,00	40,00	67,48	41,95	40,00	76,47	No
18		76,47	60,00	40,00	67,48	37,69	37,69	76,47	No
20		76,47	60,00	40,00	67,48	37,69	37,69	76,47	No
22		68,52	54,77	33,33	58,86	39,97	33,33	68,52	No
24		68,52	54,77	33,33	58,86	39,97	33,33	68,52	No
26		83,72	64,81	46,67	75,75	60,35	46,67	83,72	No
28		83,72	64,81	46,67	75,75	60,35	46,67	83,72	No
30		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
32		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
34		99,50	75,50	63,33	95,25	70,73	63,33	99,50	No
36		99,50	75,50	63,33	95,25	70,73	63,33	99,50	No
38		70,58	56,12	35,00	61,05	70,54	35,00	70,58	No
40		70,58	56,12	35,00	61,05	70,54	35,00	70,58	No

Tabla 7: Comprobación de la Norma para clotoides. Fuente: Propia.

### 6.1.2. Trazado en alzado

Respecto al trazado en alzado de la vía, se han obtenido todas las rasantes y acuerdos verticales del trazado. A partir de esta información y tomando como referencia la actual norma de trazado se ha analizado el cumplimiento o no de los parámetros de los elementos del trazado en alzado. Concretamente, se ha considerado el valor mínimo y máximo de la inclinación de las rasantes y los parámetros mínimos de los acuerdos verticales con consideraciones de visibilidad y con consideraciones de percepción visual.

La Tabla 8 presenta el estado de rasantes de la carretera de estudio.

Estado de alineaciones en Planta							
Número de elemento	Tipo de elemento	Tipo de curva de perfil	Parámetro	P.K. inicia	P.K. final	Longitud (m)	Pendiente (%)
1	Rasante			000.00	039.17	39.174	-4,23%
2	Acuerdo vertical	Cóncavo	1650.000	039.17	101.27	62.093	
3	Rasante			101.27	233.29	132.024	-0,47%
4	Acuerdo vertical	Cóncavo	6500.000	233.29	300.55	67.263	
5	Rasante			300.55	383.06	82.510	0,57%
6	Acuerdo vertical	Cóncavo	4631.810	383.06	455.79	72.721	
7	Rasante			455.79	633.49	177.708	2,14%
8	Acuerdo vertical	Convexo	4047.262	633.49	693.93	60.439	
9	Rasante			693.93	701.05	7.112m	0,65%
10	Acuerdo vertical	Cóncavo	1144.382	701.05	761.25	60.200	
11	Rasante			761.25	917.96	156.717	5,91%
12	Acuerdo vertical	Convexo	950.000	917.96	979.23	61.270	
13	Rasante			979.23	979.34	0.111	-0,54%
14	Acuerdo vertical	Convexo	1100.000	979.34	1040.91	61.569	
15	Rasante			1040.91	1103.40	62.487	-6,14%
16	Acuerdo vertical	Cóncavo	1050.000	1103.40	1170.27	66.874	
17	Rasante			1170.27	1461.52	291.248	0,23%
18	Acuerdo vertical	Convexo	1750.000	1461.52	1522.94	61.415	
19	Rasante			1522.94	1563.89	40.951	-3,28%

Tabla 8: Datos geométricos de trazado en alzado. Fuente: Propia.

La tabla 9 muestra el cumplimiento de la normativa en cuanto a máximos y mínimos de la inclinación para las rasantes. Esta puede tomar un valor máximo de 6% y mínimo de 0,5% (excepcionalmente 8% y 0,2% de inclinación máxima y mínima, respectivamente). Por tanto, todas las rasantes cumplen la instrucción, en algunos casos considerando los valores excepcionales.

Número de elemento	Inclinación	Cumple MAX?	Cumple MIN?
1	-4.23%	Si	Si
3	-0.47%	Si	Si, excepcional
5	0.57%	Si	Si
7	2.14%	Si	Si
9	0.65%	Si	Si
11	5.91%	Si	Si
13	-0.54%	Si	Si
15	-6.14%	Si, excepcional	Si
17	0.23%	Si	Si, excepcional
19	-3.28%	Si	Si

Tabla 9: Comprobación de la Norma para trazado en alzado. Fuente: Propia.

Prosiguiendo con las comprobaciones, se muestran en la Tabla 10 los parámetros mínimos de las curvas de acuerdos verticales, con consideraciones de visibilidad y percepción visual. Para cumplir con este criterio se exige que el parámetro Kv de los acuerdos (Tabla 8) sea mayor que el Kv mínimo definido por la norma. De este modo, se obtiene que todos los acuerdos dispuestos en el tramo de carretera cumplen, tanto en condiciones de visibilidad como de percepción visual.

Estado de alineaciones en Planta		Acuerdos Verticales visibilidad(Vp=40km/h)		Acuerdos Verticales Percepción Visual(Vp=40km/h)	
Número de elemento		Dp	KV min	Long	Cumple?
2		35,63621839	728,149497	62.093	Si
4		36,46094871	749,8637454	67.263	Si
6		36,29238661	745,4206285	72.721	Si
8		37,32462596	772,6688174	60.439	Si
10		35,22101009	717,2415836	60.200	Si
12		39,36293678	826,7364922	61.270	Si
14		38,97544722	816,4326152	61.569	Si
16		34,92993374	709,604643	66.874	Si
18		38,09325422	793,0177824	61.415	Si

Tabla 10: Comprobación de Norma para trazado en alzado. Fuente: Propia.

### 6.1.3. Sección transversal

La vía estudiada, para el tramo del acondicionamiento, tiene una sección transversal con una única calzada con dos carriles de unos 3 metros por sentido de circulación y arcenes mínimos. Esta sección no cumple las características mínimas establecidas por la Norma 3.1-IC, que establece que esta debe ser, para una carretera convencional con velocidad de proyecto de 40 km/h, de 3-3,5 m de carriles, arcenes de 0,5-1 m y una berma mínima de 0,5 m.

### 6.2. Intersecciones y giros a izquierdas

En cuanto a las intersecciones que presenta la vía actual, en el Anejo de Situación actual, se realiza un recorrido de estas y se detalla cada una de ellas para, posteriormente, valorarlas en función de la normativa de trazado. Los aspectos más importantes de este análisis se resumen a continuación:

- La intersección que se da en el P.K. 0+260, es la entrada a la playa de Calarreona en el margen izquierdo en sentido creciente. Se permite el giro a izquierdas para el sentido creciente.
- En el P.K. 0+450 se tiene en el un acceso a una finca de propiedad privada, en el margen derecho en sentido creciente.
- En el P.K. 0+980 se dispone de otro acceso a una finca privada, también en el margen derecho en sentido creciente.
- El último acceso que presenta la vía, se da en el P.K. 1+145, en el margen izquierdo en sentido creciente, donde se accede a la playa de la Higuerica. Se permite el giro a izquierdas para el sentido creciente

En ninguna de las intersecciones se dispone de elementos de transición de las condiciones de circulación.

Por ello, haciendo uso de la normativa y del criterio técnico, se considera que los accesos a las playas más adecuados deben ser en cuña. Para el acceso a las fincas privadas, se considera una cuña reducida. Por tanto, se pone de manifiesto que no se cumple la normativa en cuanto a accesos a la vía. Así, en la alternativa final del acondicionamiento, se deben disponer de accesos adecuados.

No obstante, respecto al giro a izquierdas, la normativa específica que para las características de la vía quedan prohibidos todos los giros a izquierdas al mismo nivel.

### 6.3. Velocidades

En la figura 2 se muestra, para la RM-333 en la situación y años actuales, el promedio de la velocidad de operación ( $V_{85}$ ). Así para el sentido creciente es de 74km/h, y para el sentido decreciente de la vía de 76km/h, estimados a partir de los modelos de velocidad de operación y de tasas de aceleración y deceleración propuestos por Pérez-Zuriaga et al. (2010) y Camacho-Torregrosa et al. (2013) (Figura 2).

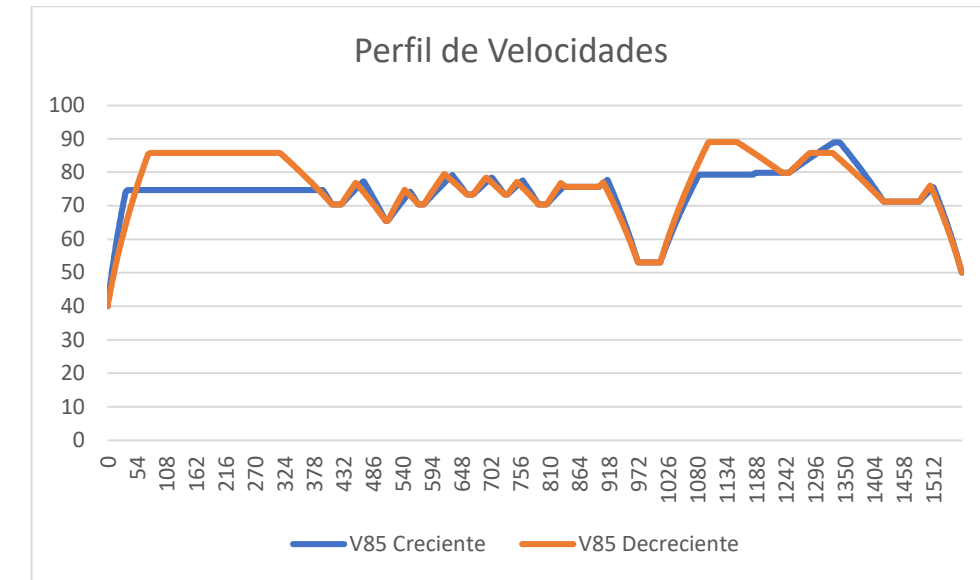


Figura 2: Perfil de Velocidades. Fuente: Perfil V85 (UPV).

Se puede apreciar como en la curva de radio 40 metros, entre el P.K. 0+970 y el P.K.1+010, se produce una gran deceleración y posterior aceleración de la velocidad.

### 6.4. Consistencia

La consistencia de la vía puede ser analizada a partir de criterios locales y modelos globales. En relación con los de tipo local, estos son muy adecuados para detectar en qué elementos del trazado es más probable que se concentren los accidentes. Para los modelos globales se evalúa la consistencia de un tramo completo de vía.

A continuación, se ofrecen los datos de consistencia locales de la vía estudiada para el sentido creciente (Tabla 11) y decreciente (Tabla 12) de circulación, según el Criterio II de Lamm et al. (1988).

PK inicial	PK final	Velocidad inicial (km/h)	Velocidad final (km/h)	Decremento de velocidad (km/h)	Tipo de inconsistencia
393	411	74.71	70.43	4.29	Buena
469	509	77.26	65.51	11.75	Aceptable
554	569	74.18	70.43	3.75	Buena
631	658	79.14	73.32	5.83	Buena
703	727	78.44	73.32	5.13	Buena
760	789	77.52	70.43	7.09	Buena
836	838	75.92	75.63	0.29	Buena
915	971	77.71	53.11	24.6	Pobre
1340	1421	88.94	71.22	17.72	Aceptable

Tabla 11: Datos de consistencia local en sentido creciente. Fuente: Perfil V85 (UPV).

PK inicial	PK final	Velocidad inicial (km/h)	Velocidad final (km/h)	Decremento de velocidad (km/h)	Tipo de inconsistencia
1287	1248	85.8	79.87	5.92	Buena
1102	1012	89.02	53.11	35.91	Pobre
907	900	77.02	75.63	1.39	Buena
830	804	76.74	70.43	6.32	Buena
750	732	77.07	73.32	3.75	Buena
693	669	78.44	73.32	5.13	Buena
617	579	79.46	70.43	9.03	Buena
544	513	74.75	65.51	9.24	Buena
454	428	76.81	70.43	6.38	Buena

Tabla 12: Datos de consistencia local en sentido decreciente. Fuente: Perfil V85 (UPV).

La consistencia global del tramo estudiado es pobre de acuerdo al modelo propuesto por Camacho-Torregrosa (2015) dado que el parámetro de consistencia es relativamente alto, lo que se traduce en una alta tasa de siniestralidad (Tabla 13). Además, la estimación del número de víctimas en accidentes asciende a la cantidad de 6,43 accidentes en 10 años, según el modelo propuesto por Camacho-Torregrosa (2015).

CONSISTENCIA GLOBAL:		metros
Parámetro de consistencia:	2.45	$s^{1/3}$
Clasificación de consistencia:	Pobre	
Accidentes estimados en 10 años:	6.43	accidentes en 10 años

Tabla 13: Datos de consistencia global. Fuente: Perfil V85 (UPV).

## 6.5. Siniestralidad

En cuanto a la siniestralidad observada en el tramo, según los datos recogidos por la Dirección General de Tráfico, en el periodo comprendido entre los años 2014 y 2018, tuvieron lugar un total de 3 accidentes con víctimas en el P.K. 5+000, ninguno de los heridos fue hospitalizado en 30 días transcurridos tras el accidente.

## 6.6. Plan de seguridad vial

Asimismo, en el Plan de Seguridad Vial de la Red de Carreteras de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, cuyos objetivos son la descripción y el diagnóstico de la accidentalidad en las vías de la región, para el bienio 2015-2016, en la carretera RM-333 y más concretamente para el tramo entre el P.K. 3+900 y el P.K. 5+700, se detectaron múltiples deficiencias, basadas en una calzada con deficiente trazado, ancho de plataforma escasa y altas intensidades de tráfico.

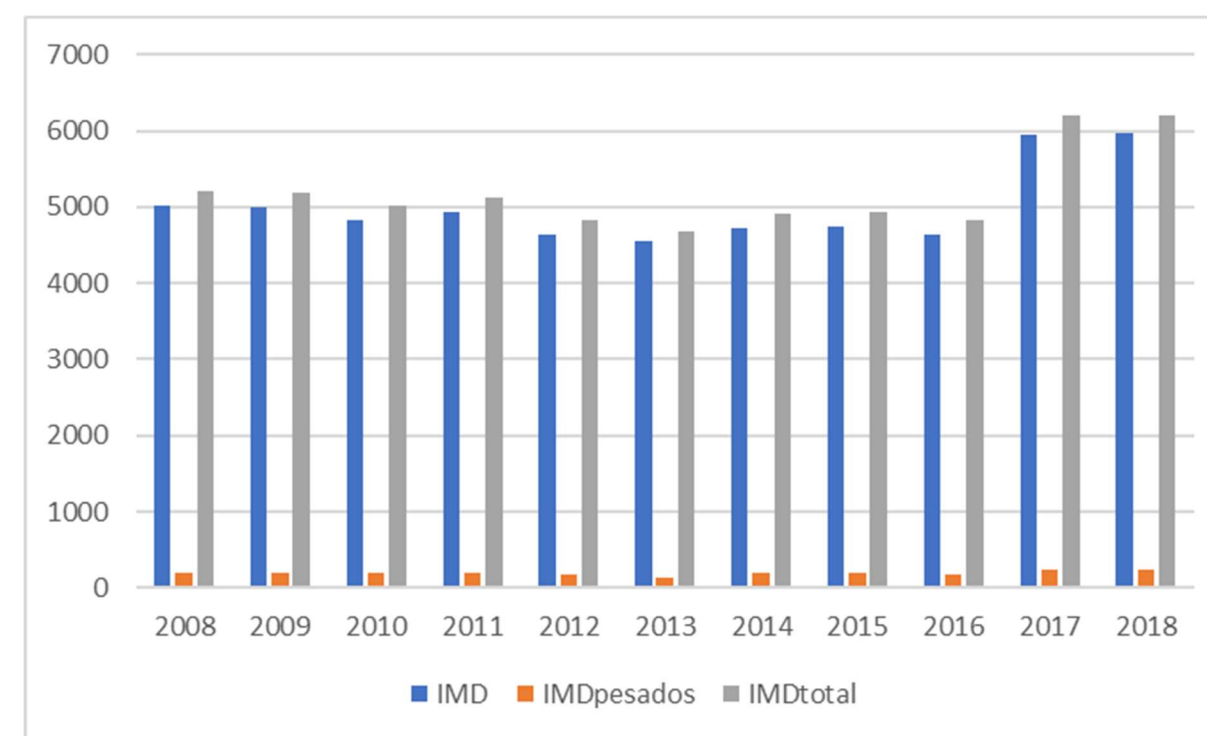
Por tanto, este estudio de acondicionamiento se centra en ofrecer distintas alternativas justificadas para solventar la problemática detectada en el Plan de Seguridad Vial para el trazado Calarreona-Límite de provincia.

# 7. ANÁLISIS DE TRÁFICO

## 7.1. Datos de tráfico

Los datos de tráfico se obtuvieron de la estación de aforo secundaria SC-134. Para el cálculo de la estacionalidad, dado que no se disponen de datos de intensidades por meses para la estación antes mencionada, se ha recurrido a la estación 416 de tipo permanente, que se encuentra en la RM-11.

Los datos ofrecidos por los mapas de aforos son la Intensidad Media Diaria (IMD) de tráfico y el porcentaje de pesados. También se tienen datos de Intensidades Horarias, disponibles en la ficha de la estación. En la Figura 3, se puede observar la evolución del tráfico desde el año 2008 al 2018.



Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio
IMD	5009	4993	4823	4930	4648	4544	4730	4751	4647	5955	5969	5000
% Pesados	4%	4%	4%	4%	4%	3%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
IMDpesados	200	200	193	197	186	136	189	190	186	238	239	196
% Crecimiento	0%	-3%	2%	-6%	-27%	39%	0%	-2%	28%	0%	-	3.2%
IMDtotal	5209	5193	5016	5127	4834	4680	4919	4941	4833	6193	6208	5196

Figura 3: Evolución del tráfico desde el año 2008 al 2018. Fuente: Elaboración propia.



## 7.2. Aumento del tráfico en el periodo estival

Debido a la situación costera y el uso que se hace de la vía, como conexión entre zonas del litoral y acceso a las playas, esta cuenta con altas intensidades de tráfico en las épocas estivales. Así, con datos por meses de los años 2013 al 2017 de la estación 416, se ha obtenido el porcentaje de estacionalidad por año. Los cálculos se detallan en el anejo de Análisis de tráfico.

Como se puede comprobar en los resultados obtenidos, la intensidad de vehículos ligeros puede llegar hasta más de un 60% respecto a la media durante los meses estivales.

## 7.3. Análisis del tráfico

Se estima que el año de puesta en servicio será 2024 y, por tanto, el año horizonte será 2044. Respecto a la Intensidad Media Diaria (IMD), varía con el paso de los años según un factor acumulativo, por ello es necesario corregir la intensidad (ver Anejo de Análisis de tráfico). A continuación, se dan los datos de las intensidades para estos años:

- Año actual (2020): 6.142 vehículos/día y 245 vehículos pesados/día.
- Año de puesta en servicio (2024): 6.503 vehículos/día y 260 vehículos pesados/día.
- Año horizonte (2044): 8.656 vehículos/día y 346 vehículos pesados/día.

Respecto a la Intensidad de Hora Punta (IHP), como se puede comprobar en las fichas de la estación SC-134, para la Hora 30, la Intensidad de Hora Punta (IHP) es un 16% de la Intensidad Media Diaria (IMD). Por tanto, la Intensidad de Hora Punta que se tiene es:

- Año actual (2020):  $IHP=0,16 \cdot 6142 = 983$  vehículos/hora
- Año de puesta en servicio (2024):  $IHP=0,16 \cdot 6503 = 1040$  vehículos/hora
- Año horizonte (2044):  $IHP=0,16 \cdot 8656 = 1384$  vehículos/hora

## 7.4. Nivel de servicio

Para la determinación del cálculo del Nivel de Servicio en Carreteras Convencionales se empleará la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual) del Transportation Research Board de los Estados Unidos (HCM, 2016). Los cálculos se encuentran detallados en el anejo de Análisis de tráfico.

Puesto que la carretera es de Clase II, teniendo en cuenta los efectos geométricos, el tráfico y los factores ambientales, se empleará el porcentaje en tiempo en cola (Percent Time Speed Following-PTSF) para la determinación del nivel de servicio.

Para la vía sin acondicionar, se ha supuesto que el 60% de los vehículos circulan en una dirección y el 40% en la opuesta. La zona de adelantamiento equivale a un 15,6% del total y la de no adelantamiento un 84,4% para ambos sentidos. Así, en tabla 14 se tiene para los distintos años el nivel de servicio calculado.

Nivel de servicio (TRAZADO ACTUAL)		
AÑO	PTSF	
Actual (2020)	Sentido creciente	Sentido decreciente
	78.41%	60.99%
	CLASE D	CLASE C
Puesta en servicio (2024)	Sentido creciente	Sentido decreciente
	81.64%	65.53%
	CLASE D	CLASE C
Horizonte (2044)	Sentido creciente	Sentido decreciente
	94.20%	67.18%
	CLASE E	CLASE C

Tabla 14: Nivel de servicio para trazado actual. Fuente: Propia.

Para la vía ya acondicionada, se dispone para el sentido creciente (sentido Calarreona-Terreros) un 34.89% de tramo de no adelantamiento, y para el sentido decreciente, un 63.64%. El reparto de la intensidad de tráfico por sentido de circulación asumido ha sido de 60/40. En la tabla 15, se disponen los niveles de servicio calculados.

Nivel de servicio (TRAZADO ACONDICIONADO)		
AÑO	PTSF	
Puesta en servicio (2024)	Sentido creciente	Sentido decreciente
	75.73%	60.66%
	CLASE D	CLASE C
Horizonte (2044)	Sentido creciente	Sentido decreciente
	94.52%	66.26%
	CLASE E	CLASE C

Tabla 15: Nivel de servicio para trazado acondicionado. Fuente: Propia.

No obstante, el PTSF mejora respecto a la vía sin proyectar, disponiendo un 75% frente a un 81%. Sin embargo, este nivel de servicio ofrece una circulación inestable, qué no debería darse en la vía proyectada. Por tanto, en vista de los resultados obtenidos, se deberá de realizar un estudio más detallado del nivel de servicio. En él, se deberá de obtener la descompensación real, así como un estudio específico de la afección de la velocidad de la vía al hábitat natural. En función de estos nuevos datos y otros que se justifiquen, se deberá de tomar una decisión adecuada



## 8. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Respecto a los criterios para la definición de alternativas, ha sido fundamental el programa AutoCAD Civil 3D. Con este se ha restituido el trazado actual y se han diseñado todas las alternativas analizadas. Hay que destacar que el trazado actual restituido ha supuesto una base para la realización de las alternativas, puesto que estas intentan utilizar al máximo la infraestructura presente y han utilizado de base el eje de la vía actual.

También se debe destacar que para el diseño de los trazados en planta de las alternativas se han utilizado curvas circulares enlazadas con rectas, mediante clotoides simétricas. Para el alzado, se han utilizado curvas de acuerdo del tipo parábola simétrica de eje vertical. Todo ello cumpliendo la instrucción de trazado 3.1-IC. En cuanto a la sección transversal, se dispondrá de un arcén antes inexistente. Estas alternativas se han diseñado con Velocidad de Proyecto de 60 km/h.

El objetivo principal de este acondicionamiento ha sido la mejora en planta de las dos curvas de menor radio, tomando soluciones con afección medioambiental reducida y ofreciendo la máxima seguridad vial posible. Además, se ha intentado maximizar el uso del trazado actual, para así disminuir el volumen de obras, y por ello, se ha aprovechado la existencia del puente en el P.K. 0+100. Asimismo, todas las alternativas deben disponer de los correctos elementos de transición para las condiciones de circulación, por ello se deben disponer cuñas y cuñas reducidas, y se prohíben los giros a izquierdas.

Gracias a AutoCAD CIVIL 3D, con la creación de la Obra Lineal se pueden obtener los valores de los movimientos de tierras: la superficie y el volumen de los desmontes y terraplenes a lo largo de toda la obra. Para poder realizar todo esto, se han utilizado los ensamblajes de AutoCAD Civil 3D, y se ha podido dimensionar la geometría de cada componente utilizado en las diferentes secciones de la obra lineal. No obstante, se ha dividido la Obra Lineal en 5 subtramos o regiones, asignándole a cada una de ellas un ensamblaje compuesto por 8 subensamblajes.

### 8.1. Criterios para selección de alternativas

A continuación, se exponen los criterios empleados para la priorización de las alternativas propuestas:

- Impacto ambiental: se explicarán las ventajas y desventajas medioambientales del uso del trazado actual y cuanta superficie y volumen se ocuparán fuera de la plataforma.
- Trazado: para valorar el criterio del trazado se evaluará la cubicación de las tierras a lo largo del trazado.
- Seguridad vial: se ha valorado la consistencia de la vía mediante el Modelo Global de Consistencia y el Parámetro Local de Consistencia.
- Funcionalidad: se ha utilizado la desviación típica de la velocidad, para poder conocer qué tan dispersos están los datos de velocidades, con respecto a la velocidad media de los mismos.

En el Anejo de Alternativa se describen con mayor profundidad todos los criterios considerados.

### 8.2. Análisis de alternativas

La Alternativa 0 consiste en la no intervención sobre la actual RM-333, dicha alternativa tiene aspectos negativos claros, como mantener las curvas de radio 40 y 75 metros, que visiblemente se ven compensados con los efectos beneficiosos que tendrá sobre el medio natural.

La Alternativa 1 Aumenta el radio trasladando hacia el Sureste el trazado. No obstante, para poder aumentar el radio se han eliminado dos curvas del trazado actual, la curva con número de elemento (ver Anejo de Situación actual) 27 de radio 140 metros y la contigua con número de elemento 31 de radio 40 metros. Con ello se ha podido aumentar el radio hasta los 150 metros con un parámetro de la clotoide de 90 metros (Figura 4).

En la figura 4 se muestran las líneas de nivel de la topografía y se aprecia como el nuevo trazado atraviesa una zona relativamente elevada. En esta zona se generarán, en unos 250 metros de trazado, primero desmontes subverticales en roca de unos 10 metros de altura, y posteriormente terraplenes de unos 7 metros de altura.



Figura 4: Alternativa 1. Fuente: Propia.



Además, esta alternativa realiza varios cambios más, estos son mínimos en el trazado y no suponen una alta variación de este, sin embargo, mejoran las características de la alternativa. Estos cambios son:

- Curva con número de elemento 7 de radio 75 metros, se aumenta el radio hasta los 130 metros con un parámetro de la clotoide de 70 metros, siendo este el máximo posible por la limitación de los elementos contiguos.
- Curva con número de elemento 35 y de radio 190 metros, se ha reducido hasta radio 130 metros, para que no se den decrementos muy altos de la velocidad en cuanto a la consistencia del tramo.
- Respecto al trazado en alzado, se han realizado varios cambios, que han consistido básicamente en aumentar la longitud de los acuerdos.

La Alternativa 2 se basa en el mismo principio que la alternativa 1, aumentar el radio de la curva de 40 m llevando el trazado hacia el Sureste, pero realiza un cambio más drástico que la alternativa anterior, al eliminar 4 curvas circulares (Figura 5). Se consigue así un trazado menos sinuoso y más corto. Las curvas eliminadas son (ver Anejo de Situación actual), con número de elemento: la 23 de radio 100 metros; 27 de radio 140 metros; 31 de radio 40 metros y 35 de radio 190 metros. Se consigue aumentar la longitud de las rectas contiguas a la curva circular dispuesta de radio 200 metros y parámetros de la clotoide de 115 metros.

En la Figura 5, se muestra una vista de la alternativa en planta. Examinando las líneas de nivel se aprecia que el trazado de esta alternativa debe atravesar una zona relativamente elevada, similar a la alternativa anterior. En esta zona se generarán, en unos 300 metros de trazado, primero desmontes subverticales en roca de unos 9 metros de altura, y posteriormente terraplenes de unos 10 metros de altura.



Figura 5: Alternativa 2. Fuente: Propia.

Además, en esta alternativa también se ha aumentado el radio de la segunda curva, con número de elemento 7 de radio 75 metros, hasta los 130 metros, con un parámetro de la clotoide de 70 metros, siendo este el máximo posible por la limitación de los elementos contiguos. En relación con el trazado en alzado, se ha aumentado la longitud de los acuerdos.

La Alternativa 3 lleva el trazado hacia el Noroeste para conseguir aumentar el radio de la curva 40 metros (Figura 6). Para ello, (ver Anejo de Situación actual) se ha suprimido la curva con número de elemento 27 de radio 140 metros, (la anterior a la de radio 40 metros). Así, se ha podido crecer el radio hasta los 190 metros con un parámetro de la clotoide de 100 metros.

Se observa ahora como las curvas de nivel indican que el trazado se dispone por una zona más horizontal, más adaptado a la topografía, donde ya no se generarán grandes desmontes y terraplenes. Además, se ha aumentado el radio de la curva con número de elemento 7, de radio 75 metros, hasta los 130 metros, con un parámetro de la clotoide de 70 metros. En relación con el trazado en alzado, se aumenta la longitud de los acuerdos.

Destacar que esta alternativa mejora la visibilidad del cruce de la vía con el acceso a la playa de la Higuera, como se puede apreciar en la Figura 6.

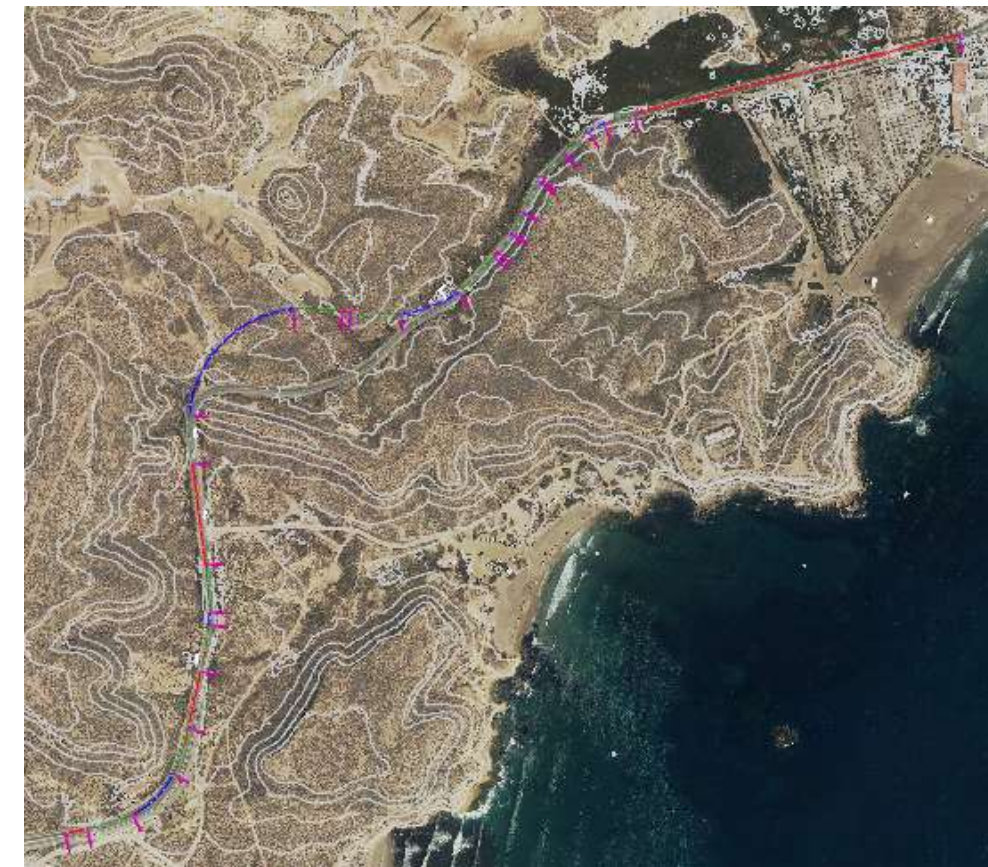


Figura 6: Alternativa 3. Fuente: Propia.



Finalmente, la Tabla 16 muestra la cuantificación de los criterios antes comentados para cada una de las alternativas descritas.

IMPACTO AMBIENTAL	
Uso del trazado actual (%)	
Alternativa 0	100.0%
Alternativa 1	76.6%
Alternativa 2	73.9%
Alternativa 3	74.1%

IMPACTO AMBIENTAL	
Sup. ocupada fuera de la plataforma (m2)	
Alternativa 0	0
Alternativa 1	3462.07
Alternativa 2	4128.75
Alternativa 3	2447.61

IMPACTO AMBIENTAL	
Volumen. ocupado fuera de la plataforma (m3)	
Alternativa 0	0
Alternativa 1	34312.23
Alternativa 2	41044.87
Alternativa 3	24272

TRAZADO	
Cubicación (Vol Neto: m2)	
Alternativa 0	0
Alternativa 1	2285.18
Alternativa 2	-2711.85
Alternativa 3	5285.16

SEGURIDAD VIAL	
Parámetro Global (s <sup>1/3</sup> )	
Alternativa 0	2.45
Alternativa 1	2.57
Alternativa 2	2.62
Alternativa 3	2.61

SEGURIDAD VIAL	
Parámetro Local (km/h)	
Alternativa 0	9.08
Alternativa 1	7.76
Alternativa 2	8.19
Alternativa 3	8.59

FUNCIONALIDAD	
Desviación de la velocidad	
Alternativa 0	8
Alternativa 1	6.12
Alternativa 2	7.6
Alternativa 3	6.8

Tabla 16: Desviación de la Velocidad de las distintas alternativas. Fuente: Propia.

### 8.3. Estudio comparativo

Para elegir una de las alternativas, se debe de realizar una valoración conjunta de todos los criterios mediante distintas ponderaciones, para así tener como resultado cual será la opción más adecuada desde la evaluación conjunta de todos los criterios.

Con el objetivo de poder determinar una de las alternativas como solución, se ha elaborado una matriz donde cada criterio tiene una ponderación, en porcentaje, considerando los criterios más importantes el impacto ambiental (40%) y la seguridad vial (40%). Los dos restantes, trazado y funcionalidad, fueron ponderados con un peso del 10%. A su vez, cada criterio ha sido normalizado entre 0 y 10, siendo el 0 la situación más desfavorable y 10 la situación más favorable, según se ha comentado en la definición de los criterios.

La justificación de la valoración de cada alternativa con respecto a cada uno de los criterios considerados se puede consultar en el Anejo de Estudio de alternativas. La ponderación de cada criterio para cada alternativa se resume en la Tabla 17 y Tabla 18. De este modo, se selecciona la alternativa 3 como la más adecuada y se tomará como solución final adoptada en este estudio de acondicionamiento.

RESUMEN POR CRITERIOS				
	Impacto ambiental	Trazado	Seguridad Vial	Funcionalidad
Alternativa 0	10.0	10.0	0.51	5.0
Alternativa 1	5.9	8.5	4.77	7.4
Alternativa 2	5.1	8.2	6.01	5.5
Alternativa 3	6.8	6.5	5.49	6.5

Tabla 17: Resumen por criterios- Fuente: Propia.

PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS		
	Suma de criterios	Suma ponderada
Alternativa 0	46.0	5.70
Alternativa 1	43.0	5.84
Alternativa 2	41.1	5.82
Alternativa 3	44.3	6.20

Tabla 18: Ponderación de los criterios. Fuente: Propia.

## 9. FIRMES

La estructura del firme debe adaptarse al comportamiento esperado del tráfico durante el tiempo de vida útil del firme. De acuerdo al tráfico pesado para el año de puesta en servicio, se dispone de una categoría de tráfico T31, según la Norma 6.1-IC (Ministerio de fomento, 2003).

La explanada forma parte de la infraestructura de la carretera cuya función es ser la superficie del cimiento del firme. De acuerdo con el anejo de geología y geotecnia, se disponen de dos materiales en la traza: roca, a la que le corresponde una categoría de explanada E3; y suelo seleccionado 2, para el que se tienen dos posibilidades de explanada: una E2, garantizando 1 metro de material seleccionado subyacente; o una E3, ejecutando 30 centímetros de suelo estabilizado, S-EST3. Sin embargo, el firme de nueva construcción que se tiene que realizar es de tan poca longitud que el rendimiento no justifica la maquinaria necesaria para la ejecución del S-EST3, por ello, se selecciona la categoría de explanada E2.

### 9.1. Dimensionamiento del firme

En cuanto al dimensionamiento de las secciones del firme, se basa en las relaciones entre la intensidad de tráfico pesado y la categoría de la explanada.

Así, para la roca con categoría de explanada E3 y para una categoría de tráfico T31, se puede dimensionar la sección 3131, 3132 y 3134, de acuerdo con la norma 6.1-IC. No obstante, la sección 3134, compuesta de Hormigón de firme y Zahorra artificial, se descarta dado que esta sección tiene un alto nivel de ruido incompatible con la protección ambiental de la zona, además tiene un alto coste de adquisición. Respecto a la sección 3132, compuesta por Mezcla Bituminosa y por Suelocemento, se descarta por criterios económicos, dado que el bajo volumen de firme a disponer no justifica la maquinaria necesaria para su ejecución. Así, se propone la sección 3131, compuesta por 16 centímetros de mezclas bituminosas, establecido sobre una capa de 25 centímetros de zahorras artificiales,

Para el suelo seleccionado 2, se dispone de una explanada E2. En este caso, se puede dimensionar la sección 3121, 3122 y 3124. En base también a los mismos criterios que antes, la sección de Hormigón 3124 se descarta, así como también la sección 3122 compuesta por suelocemento. Así, se selecciona la sección 3121, compuesta por 16 centímetros de mezcla bituminosa y 40 centímetros de Zahorra artificial.

Al tener que disponerse de 16 centímetros de mezcla bituminosa en los dos dimensionamientos, se opta por 5 centímetros de capa de rodadura y 11 centímetros de capa de base. Todo esto, además de las particularidades de los arceles, el tipo de ligante, los riegos necesarios y las correspondientes dotaciones de betún se encuentran definidos en el Anejo de Firmes.

La Figura 7 y la Figura 8 resumen la sección de firme 3131 y 3121, respectivamente.

	Espesor	Capa	Material
Sección firme 3131	5 cm	Rodadura	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC16 surf D, dotación de ligante 4.5% de BC-35/50
		Riego adherencia	Emulsión bituminosa tipo C60B3 ADH
	11 cm	Base	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC32 base G, dotación de ligante 4% de BC50/70
		Riego imprimación	Emulsión bituminosa tipo C60BF4 IMP
	25 cm	Base granular	Zahorra artificial tipo ZA 0/32
		Explanada E3	Capa de regulación HM-20
		Suelo subyacente	Roca

Figura 7: Sección del firme propuesta. Fuente: Elaboración Propia.

	Espesor	Capa	Material
Sección firme 3121	5 cm	Rodadura	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC16 surf D, dotación de ligante 4.5% de BC-35/50
		Riego adherencia	Emulsión bituminosa tipo C60B3 ADH
	11 cm	Base	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC32 base G, dotación de ligante 4% de BC50/70
		Riego imprimación	Emulsión bituminosa tipo C60BF4 IMP
	40 cm	Base granular	Zahorra artificial tipo ZA 0/32 (Extendida en dos capas)
	100 cm	Explanada E2	Suelo seleccionado 2
		Suelo subyacente	Suelo seleccionado 2

Figura 8: Sección del firme propuesta. Fuente: Elaboración Propia.

### 9.2. Aprovechamiento del firme existente

El trazado definitivo de la carretera aprovecha gran parte de la infraestructura existente. De hecho, hay zonas en las que el trazado propuesto discurre por el mismo lugar que la carretera actual, por ello se pretende utilizar el firme existente de la vía.

No obstante, debería verificarse el estado en el que se encuentra el firme realizando una campaña de deflexiones y aplicando la Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" (Ministerio de fomento, 2003). Además, debería de comprobarse que el firme es capaz de soportar las cargas y deformaciones derivadas del aumento de tráfico previsto. Sin embargo, dado que se realizó un recrecimiento de la sección en el año 2017 para el tramo estudiado, se entiende que la sección que se tiene actualmente dispone buenas condiciones superficiales y es capaz de soportar las cargas previstas.

En cualquier caso, si se utiliza el firme existente, se pretende mantener la sección transversal de los carriles actuales, aumentándolos hasta 3,5 metros en donde no se disponga de esa anchura y disponiendo de arceles de 1,5 metros y bermas de 0,75 metros. Para ejecutar esta ampliación, se prevé realizar un corte vertical de la sección y disponer la ampliación.



Destacar que dada la protección ambiental de la zona y para una correcta adecuación paisajística, se pretende demoler todo el firme que no sea utilizado por la solución, que básicamente se encuentra en la curva actual de radio 40 metros y que como se veía en el estudio de alternativas, no será utilizada por el nuevo trazado. Por tanto, se pretende demoler el firme comentado y será llevado a vertedero autorizado. Además, dado que en la cubicación de la alternativa seleccionada se pretende disponer de material, se pretende verterlo en esta zona y restaurar el talud de corte vertical que dicha curva tiene en la actualidad. Todo ello se cubrirá con tierra vegetal, extraída y acopiada de distintas partes de la obra y sembrado con vegetación autóctona de la zona.

## 10. ESTUDIO HIDRÁULICO

Este tiene por objetivo conocer las condiciones hidrológicas de la zona donde se va a llevar a cabo el acondicionamiento del tramo en la RM-333. Se pretende caracterizar la climatología e hidrología de la zona de estudio. Con los datos obtenidos, se realizará un dimensionamiento del drenaje longitudinal del tramo y se valorará el drenaje transversal actual de la vía.

### 10.1. Caracterización climática de la zona

Respecto al clima promedio en la zona de Águilas, este clima se conoce como un clima de estepa local o desértico cálido, con escasas precipitaciones. Es considerado BSh según la clasificación climática de Köppen-Geiger. Así, los veranos son muy calurosos, húmedos, áridos y mayormente despejados; sin embargo, los inviernos son en su mayoría largos, fríos, secos, ventosos y parcialmente nublados. Toda esta información se encuentra ampliamente extendida en el anejo de estudio hidráulico, no obstante, en la Figura 9 se puede apreciar como varían distintas características climáticas a lo largo del año.

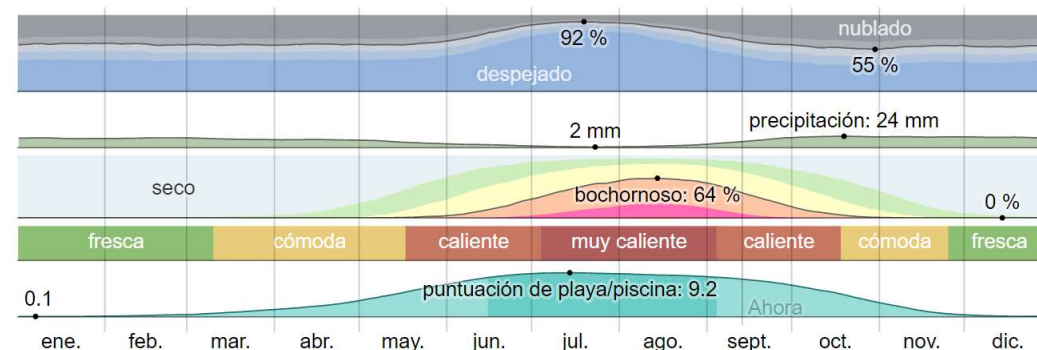


Figura 9: Resumen del clima. Fuente: Weather Spark.

### 10.2. Zonas de riesgo de inundación

El principal objetivo de los mapas de riesgo es aportar información fundamental para la elaboración de los futuros planes de gestión del riesgo, y poder estimar los daños asociados a inundaciones. Así, para conocer las zonas con riesgo de inundación y zonas inundables, se recurre a los datos de las Áreas De Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) de la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS). La zona del estudio se corresponde con el ARPSI Nº 14 (ES070\_ARPSI\_0014) Cuenca: Sur de Murcia 14.1 - Rambla de Calarreona, consultable en el apéndice I de Anejo de Estudio hidráulico.

La cartografía de riesgo de inundación elaborada para cada ARPSI es la siguiente:

- Riesgo a la Población: número indicativo de habitantes que pueden verse afectados en la zona inundable del municipio. Para la zona del estudio, los calados no afectan a zonas urbanas, ni a zonas a zonas con viviendas, como se puede ver en la Figura 10. Por esto, el riesgo bajo.
- Riesgo a la Actividad económica: tipo de actividades económicas de la zona que pueden verse afectadas. No se aprecia afección a actividades económicas relevantes. Por consiguiente, el riesgo es bajo.
- Riesgo en Puntos de especial importancia: Instalaciones industriales a que se refiere el anejo I de la ley 16/2002, de IPPC, EDARs, Patrimonio Cultural y afecciones de importancia para las labores de Protección Civil. En la zona del estudio no se detecta, ningún punto de especial importancia. El riesgo es nulo.
- Riesgo para áreas protegidas ambientalmente: Como zonas para la protección de hábitats o especies que pueden resultar afectadas, dado que el cauce discurre por el paisaje protegido de cuatro calas, es riesgo es alto.

En la figura 10, se muestra un mapa de la zona del estudio correspondiente a las zonas inundables de origen fluvial, para los periodos de retorno: T=10, el área en color rojo, T=100, el área de color naranja y T=500 para el área en amarillo.



Figura 10: Zonas Inundables. Fuente: CHS.

En Figura 10 se aprecia que la zona afectada por las aguas fluviales se corresponde con la rambla de Calarreona. Para atravesar la RM-333, dicha rambla transcurre a través de una obra de drenaje transversal, que se mostró en el recorrido de trazado que se realizó en el Anejo Geológico-geotécnico. Aguas abajo, se encuentra una especie de encauzamiento, de no más de 1-1,5 metros de altura de hormigón revestido de piedra, del antiguo camping que había en esa zona. No obstante, dicho muro no tiene más que un papel “decorativo”.

A continuación, se muestra el calado en la zona de estudio para los periodos de retorno,  $T=10$ , en primer lugar. Posteriormente  $T=100$ . La escala de colores azules utilizada en las imágenes, se refiere a la profundidad de calado, así para las zonas menos profundas se tiene color azul claro y para las más profundas, un color azul más oscuro, como se muestra a continuación:

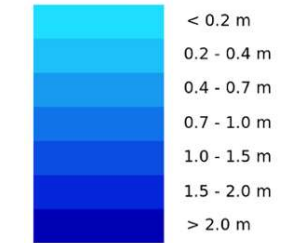


Figura 11: Calados en Zonas inundables. Fuente: CHS.



Figura 12: Calado para  $T=10$ . Fuente: CHS.

En la Figura 12 se muestra para el periodo de retorno de 10 años, que los calados no son muy altos, variando entre >0.2 hasta 1 metro aproximadamente. Asimismo, se puede observar cómo aguas abajo la rambla circulara por el “encauzamiento” que se dispone.





Figura 13: Calado para T=100. Fuente: CHS.

En la figura 13, se observa que para el periodo de retorno 100 años, se puede apreciar que los calados son mayores, llegando hasta los 2 metros en algunas zonas del área inundada. También, se puede apreciar como el agua sobrepasa el encauzamiento posterior a la vía, sin embargo, a priori, parece que la infraestructura de paso no se ve sobrepasada por el caudal de la vía, no obstante, se realizarán las pertinentes comprobaciones.

### 10.3. Estudio hidrológico

Se pretenden conocer las condiciones hidrológicas de la zona, y así obtener un soporte estadístico y dimensionar el drenaje transversal y longitudinal de la carretera. Con respecto al drenaje transversal, se procederá a obtener el caudal que llega a cada una de las obras de drenaje transversal actuales, para posteriormente modelizar cada una de ellas, y comprobar su funcionamiento. Con relación al drenaje longitudinal, se procede a obtener cada una de las cuencas hidrográficas de las cunetas del tramo estudiado, para después seleccionar la más desfavorable y posteriormente comprobar la validez de un dimensionamiento previo.

#### 10.3.1. Cuencas definidas

Se han definido 6 cuencas hidrográficas delimitadas por la divisoria de aguas, que corresponden con las aguas de escorrentía superficial que llegarán a las distintas obras de paso. Estas cuencas se han definido como ODT-1, ODT-2, ODT-3, ODT-4 ODT-5 Y ODT-6. Las 4 primeras se corresponden a las definidas para obras de paso de la vía actual. La ODT-5 y ODT-6, se corresponden con las nuevas obras de paso dispuestas, de ellas cabe destacar que, el caudal que atravesase la Obra de drenaje transversal 6, será el de la 5 y el propio generado por la misma, como se puede apreciar en el plano 7.1 de cuencas. En la tabla 19 queda resumidas las características de las 6 cuencas:

Cuenca	Longitud (m)	Pendiente media	Área (m2)
ODT-1	105.0	0.1905	5959.9
ODT-2	140.0	0.1429	13537.2
ODT-3	290.0	0.1034	27218.2
ODT-4	280.0	0.1071	33951.8
ODT-5	795.0	0.0579	159380.9
ODT-6	1065.0	0.0623	194034.1

Tabla 19: Cuencas de las ODT de la vía. Fuente: Propia.

Con respecto a la obra de paso que se da al comienzo del tramo, la ODT-0, los datos están disponibles en el estudio de Áreas De Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) antes comentado, y se tiene para T=100 años, 10m<sup>3</sup>/s de caudal.

Ahora, para las obras de drenaje longitudinal, se tienen en total, 7 cunetas y 7 cuencas para el margen derecho en sentido creciente del P.K. y otras 6 cunetas y 6 cuencas para el margen izquierdo, como se muestra en la tabla 20 y 21.

Cuenca	P.K. de Cuneta	Área (m2)	Longitud (m)	Pendiente media
C-0_IZQ	0+000 al 0+102	809.3	104.8	0.0388
C-1_IZQ	0+153 al 0+670	5785.5	408.7	0.0176
C-2_IZQ	0+770 al 0+790	182.0	44.9	0.082
C-3_IZQ	0+910 al 1+085	875.9	175.0	0.073
C-4_IZQ	1+340 al 1+485	1310.1	150.1	0.0032
C-5_IZQ	1+485 al 1+583	943.6	99.9	0.0259

Tabla 20: Cuencas drenaje longitudinal del margen izquierdo de la vía. Fuente: Propia.

Cuenca	P.K. de Cuneta	Área (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)	Pendiente media
C-0_DER	0+000 al 0+102	832.0	104.8	0.0388
C-1_DER	0+160 al 0+320	953.4	160.0	0.0095
C-2_DER	0+400 al 0+580	1712.2	205.6	0.0179
C-3_DER	0+750 al 0+800	588.3	78.7	0.075
C-4_DER	0+920 al 1+100	1171.0	180.0	0.0107
C-5_DER	1+150 al 1+485	3984.2	335.0	0.034
C-6_DER	1+485 al 1+567	822.4	78.8	0.0239

Tabla 21: Cuenclas drenaje longitudinal del margen derecho de la vía. Fuente: Propia.

### 10.3.2. Periodo de retorno

Según lo establecido en la normativa vigente de la Instrucción de Carreteras 5.2-IC de Drenaje Superficial, el periodo de retorno utilizado en este estudio para el cálculo hidráulico es de:

- T = 25 años para drenaje de longitudinal.
- T = 100 años para drenaje transversal.

### 10.3.3. Cálculo de caudal

Para poder llevar acabo el dimensionamiento del drenaje se va a realizar el cálculo según lo establecido en la Norma 5.2-IC (Ministerio de Fomento, 2016). Así, en las cuencas que presentan un área inferior a 50 km<sup>2</sup>, originarias del Levante y del Sur peninsular, si no se dispone de datos sobre caudales máximos procedentes de la administración, como es el caso, se procede a realizar su cálculo.

A continuación, se presentan en la tabla 22 y 23, los resultados de los caudales obtenidos. La justificación, así como todo el desarrollo de los cálculos, se encuentra en el Anejo Estudio Hidráulico. Cabe destacar que, para el cálculo de drenaje longitudinal, se han seleccionado las condiciones más desfavorables, y se ha escogido la que mayor área y tiempo de concentración tiene, por ello de las 13 cuencas obtenidas se ha elegido la C-1\_IQZ con 5.785,5 m<sup>2</sup> y un t<sub>c</sub> de 0,33 horas para el dimensionamiento. A continuación, se ofrecen los resultados para el T=25 años del drenaje longitudinal y para el T=10 años del drenaje transversal:

Cuenca	Área (m <sup>2</sup> )	I (T,t) (mm/h) T= 10 años	I (T,t) (mm/h) T= 25 años	C T= 10 años	C T= 25 años	Kt	Q T= 25 años
C-1_IQZ	5785.5	56.56	70.75	0.57	1.19	1.02	0.14

Tabla 22: Caudal máximo para T=25 del drenaje longitudinal de la vía. Fuente: Propia.

Cuenca	Área (m <sup>2</sup> )	I (T,t) (mm/h) T= 10 años	C T= 10 años	Kt	Q T= 10 años
ODT-1	5959.9	119.57	0.57	1.00	0.11
ODT-2	13537.2	105.05	0.57	1.00	0.23
ODT-3	27218.2	77.46	0.57	1.01	0.34
ODT-4	33951.8	78.79	0.57	1.01	0.43
ODT-5	159380.9	48.51	0.57	1.02	1.26
ODT-6	194034.1	43.13	0.57	1.03	1.38

Tabla 23: Caudal para T=10 del drenaje transversal de la vía. Fuente: Propia.

Ahora, como se comentaba anteriormente, para el drenaje transversal se debe de aplicar la formula (2) para calibrar el caudal obtenido. Finalmente, para el drenaje transversal se tienen los resultados de la tabla 24.

Cuenca	Q T= 10 años	Q T= 100 años
ODT-1	0.11	0.19
ODT-2	0.23	0.46
ODT-3	0.34	0.77
ODT-4	0.43	1.04
ODT-5	1.26	4.12
ODT-6	1.38	4.60

Tabla 24: Caudal máximo para T=100 del drenaje transversal de la vía. Fuente: Propia.

### 10.4. Drenaje Longitudinal

Con respecto al drenaje longitudinal, su finalidad será la recogida, conducción y desagüe de los caudales de escorrentía únicamente procedentes de las cuencas generadas por la construcción de la carretera, además, debe cumplir lo siguiente:

- Un resguardo de la calzada mayor o igual a 5 cm, si bien se podrá justificar la adopción de un valor menor. Entendiendo por resguardo la diferencia de cotas entre el punto más bajo de la calzada y la lámina de agua.
- Que la lámina de agua no alcance el arcén.

Para garantizar la continuidad geométrica e hidráulica de los elementos de drenaje, todo el caudal recogido será conducido y evacuado en el punto de desagüe, sin que se produzcan pérdidas de caudal. Respecto a los puntos de vertido, dada la protección ambiental de la zona, se debe de estudiar si la zona admite vertido directo o no. En cualquier caso, se debe procurar que el punto de vertido se redirija a cauces o cuencas naturales, siempre que sea posible.



#### 10.4.1. Comprobación de funcionamiento

La cuneta de borde de calzada o cuneta lateral diseñada dispone de una sección triangular de 0,42 metros de calado y 0,82 metros de ancho, sus taludes son simétricos con 1H:1V en la zona interior y exterior. Se diseña esta cuneta revestida con 12 cm de hormigón de HM-20, como se puede apreciar en la Figura 14.

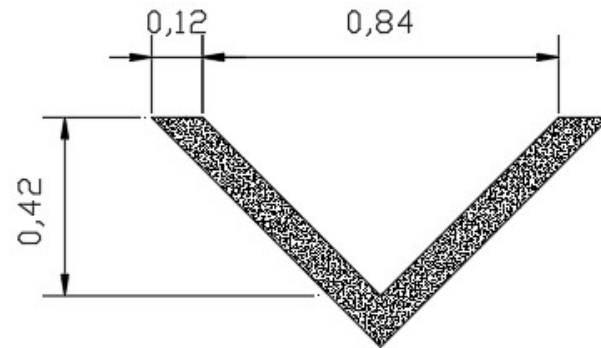


Figura 14: Cuneta propuesta. Fuente: Propia.

Esta, presentará capacidad hidráulica suficiente para su caudal de diseño, si la capacidad hidráulica de los elementos lineales en régimen uniforme y en lámina libre para la sección llena sin entrada en carga, teniendo en cuenta las limitaciones al resguardo, son mayores que el caudal de proyecto  $Q_p$ . En la tabla 25 se muestra la capacidad hidráulica de los elementos de drenaje.

Cuenca	n	J	RH	Smax	Qch
C-1_IZQ	0.015	0.0176	0.150	0.180	0.450

Tabla 25: Capacidad hidráulica de los elementos de drenaje. Fuente: Propia.

Como se puede apreciar, la capacidad hidráulica de los elementos de drenaje ( $Q_{ch}$ ) es de 0,45 m<sup>3</sup>/s y la  $Q_p$  de 0,14 m<sup>3</sup>/s, como se calculaba anteriormente. Por tanto, esta condición se cumple.

La velocidad media del agua para el caudal de proyecto debe ser menor que la que produce daños en el elemento de drenaje longitudinal. En la tabla 26 se tiene Velocidad media de la corriente para el caudal de proyecto.

Cuenca	Qp	Sp	Vp
C-1_IZQ	0.140	0.056	2.50

Tabla 26: Velocidad media de la corriente para el caudal de proyecto. Fuente: Norma 5.2-IC.

Se puede determinar que la velocidad media de la corriente para el caudal de proyecto ( $V_p$ ) es menor que la Velocidad máxima admisible en el elemento de drenaje transversal ( $V_{max}$ ) y por tanto se cumple esta condición.

Finalmente, dados los cálculos y comprobaciones realizadas en este apartado, se puede determinar que la cuneta proyectada cumple con los requisitos mínimos, y, por tanto, será la proyectada para el estudio de acondicionamiento de la RM-333.

#### 10.5. Drenaje Transversal

El objeto del drenaje transversal es restituir la continuidad de la red de drenaje natural del terreno (vaguadas, cauces, etc.) una vez ejecutadas las obras, permitiendo el paso del caudal de proyecto a su través, cumpliendo unos requisitos que se especifican en la Norma 5.2-IC (Ministerio de Fomento, 2016). La disposición más favorable para el buen funcionamiento hidráulico de la ODT, es que esta coincida con el cauce natural. No obstante, en el acondicionamiento de la RM-333 se han intentado utilizar, en la medida de lo posible, las ODT de las que ya disponía la vía.

Todas las ODT presentan una curva característica que relaciona el caudal que se desagua a su través ( $Q$ ), con la cota que alcanza la lámina de agua inmediatamente aguas arriba del conducto, medida a partir de la cota de la solera a su entrada (HE).

Se deben de cumplir las siguientes condiciones relativas al caudal de proyecto  $Q_p$ :

- Con carácter general deben funcionar con control de entrada.
- La sobreelevación del nivel de la corriente provocada por la presencia de la ODT será el menor valor de entre los dos siguientes:
  - o Cincuenta centímetros (50 cm).
  - o La correspondiente a una altura de lámina de agua a la entrada del conducto inferior a uno como dos veces la altura libre del conducto ( $HE < 1,2 H$ ).
- A la salida se debe producir la continuidad o expansión del flujo al incorporarse al cauce natural sin generar erosiones ni aterramientos, proyectando las medidas necesarias en su caso.

### 10.5.1. Comprobación de funcionamiento

#### 10.5.1.1. ODT-1 a la ODT-6

Se ha utilizado el programa de modelización hidráulica HEC-RAS para calcular los niveles alcanzados por la lámina de agua a la entrada y salida de cada obra de fábrica. Para ello, el programa requiere definir tanto la geometría de la sección, la longitud y pendiente de la ODT, como los caudales necesarios para dicho cálculo. Destacar que, el coeficiente de rugosidad de Manning utilizado ha sido de  $n = 0,015 \text{ sm}^{-1/3}$  correspondiente al hormigón, dado que las obras de paso son de este material.

Para las ODT-5 y ODT-6, de nueva construcción, se pretende ejecutar ambas mediante marcos prefabricados de hormigón. Para realizar un predimensionamiento, se procede de acuerdo con la tabla 27 procedente de la Norma 5.2-IC (Ministerio de Fomento, 2016).

L (m)	D <sub>L</sub> (m)
L (m) < 3	D <sub>L</sub> (m) ≥ 0,6
3 ≤ L (m) < 4	D <sub>L</sub> (m) ≥ 0,8
4 ≤ L (m) < 5	D <sub>L</sub> (m) ≥ 1,0
5 ≤ L (m) < 10	D <sub>L</sub> (m) ≥ 1,2
10 ≤ L (m) < 15	D <sub>L</sub> (m) ≥ 1,5
L (m) ≥ 15	D <sub>L</sub> (m) ≥ 1,8

Tabla 27: Dimensión mínima recomendada de una ODT en función de su longitud. Fuente: Norma 5.2-IC

Por tanto, dado que ambas obras son mayores de 15 metros, se recomienda disponer más de 1,8 metros de distancia libre, referidos al lado menor sección rectangular. Así, finalmente se procede a diseñar un marco de 2x2 metros de Hormigón para cada ODT, siendo esta sección visitable para su limpieza en caso de aterramiento u obstrucción y adecuada para la altura de terraplén que se dispone en ambas zonas.

Los datos de entrada para introducir en el programa de modelización hidráulica HEC-RAS son los que se muestran en la tabla 28:

Dimensiones	Longitud	Pendiente	Qt
1x0.6	17.5	0.0571	0.19
1.5x0.8	19.0	0.0632	0.46
1x0.4	17.5	0.0457	0.77
1.8x0.7	18.5	0.0973	1.04
2x2	29.0	0.05	4.12
2x2	34.0	0.05	4.60

Tabla 28: Datos de partida HEC-RAS. Fuente: Propia.

Para la ODT-1, tal y como se comentaba, se tiene una obra de paso de hormigón de 1 metro de alto por 0,6 metros de largo, con una longitud de 17,5 metros y una pendiente de 0,0571. Para el cálculo realizado se ha utilizado el Caudal de retorno para T=100 años, que es de 0,19m³/s. Con todos estos datos y mediante HEC-RAS se tiene finalmente la sección que se muestra en la figura 15.

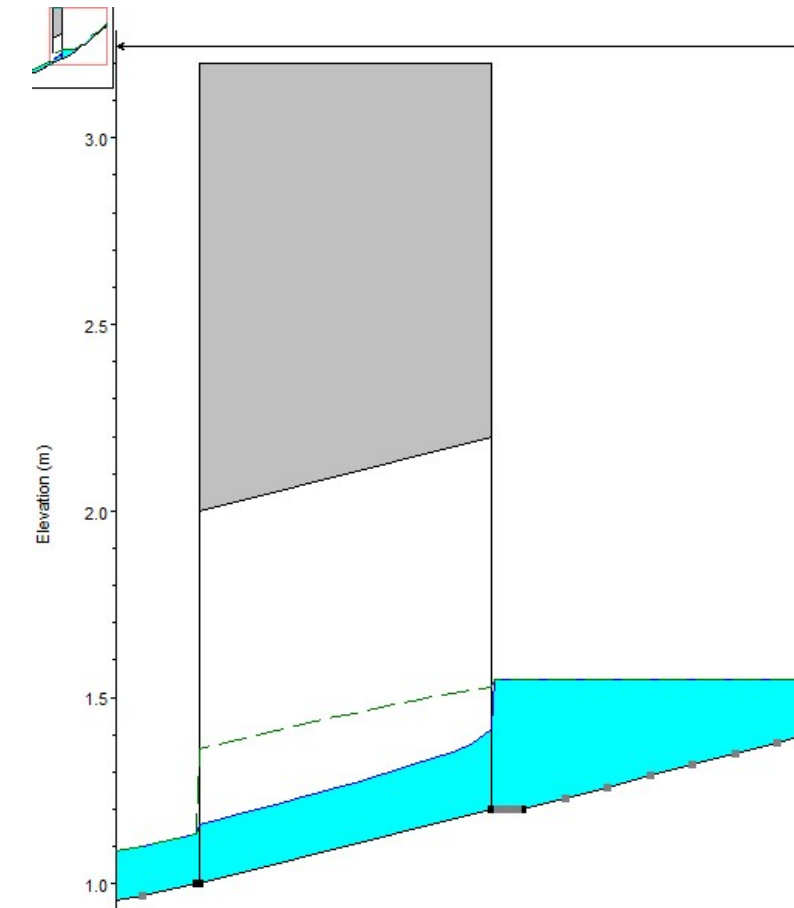


Figura 15: Detalle de las elevaciones de agua en la ODT-1. Fuente: HEC-RAS.

Observando la altura de agua obtenida, la normativa antes mencionada, estipula una sobreelevación máxima de agua en la entrada de 0,5 metros o una altura máxima:  $H_e < 1,2 \text{ H} = 1,2$  metros. De acuerdo con dicha normativa, se cumple con ninguna de las dos, al disponer de una sobreelevación de 0,2 metros y una altura de 0,4 metros. Por tanto, no será necesario aumentar la ODT actual.

Ahora, para el caso de la ODT-2, se dispone de una obra de paso de hormigón de 1,5 metros de alto por 0,8 metros de largo, con una longitud de 19 metros y una pendiente de 0,0632. Para el cálculo realizado se ha utilizado el Caudal de retorno para T=100, que es de 0,46m³/s. Con todos estos datos se dispone finalmente la sección de la figura 16.

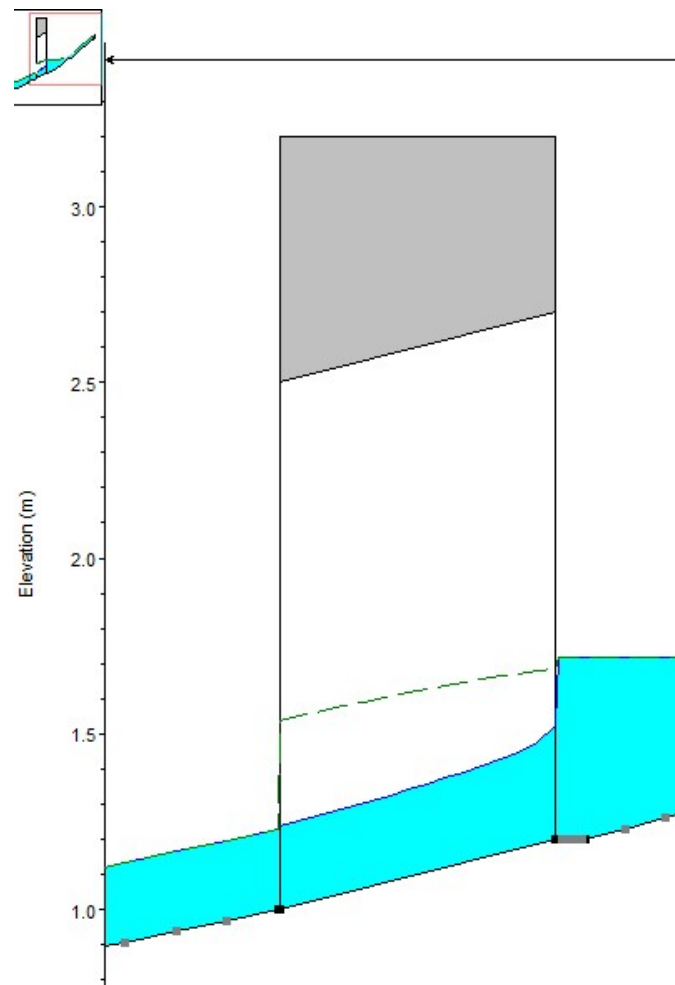


Figura 16: Detalle de las elevaciones de agua en la ODT-2. Fuente: HEC-RAS.

Como se puede apreciar en las alturas de agua obtenidas, si se cumple con la sobrelevación máxima exigida de 0,2 metros en este caso y también con la altura de lámina de agua a la entrada de la obra, obteniéndose 0,5 metros frente a 1,8 metros estipulados por la norma. Además, se puede apreciar el funcionamiento con control de entrada. Por tanto, se da como solución válida, un drenaje transversal con las medidas de 1,5x0,8 metros.

Para la tercera obra de paso, la ODT-3, se dispone de una obra de paso de hormigón de 1 metro de alto por 0,4 metros de largo, con una longitud de 17,5 metros y una pendiente de 0,0457. Para el cálculo realizado se ha utilizado el Caudal de retorno para  $T=100$ , que es de  $0,77\text{m}^3/\text{s}$ . Por tanto, se dispone la figura 17 con la siguiente sección:

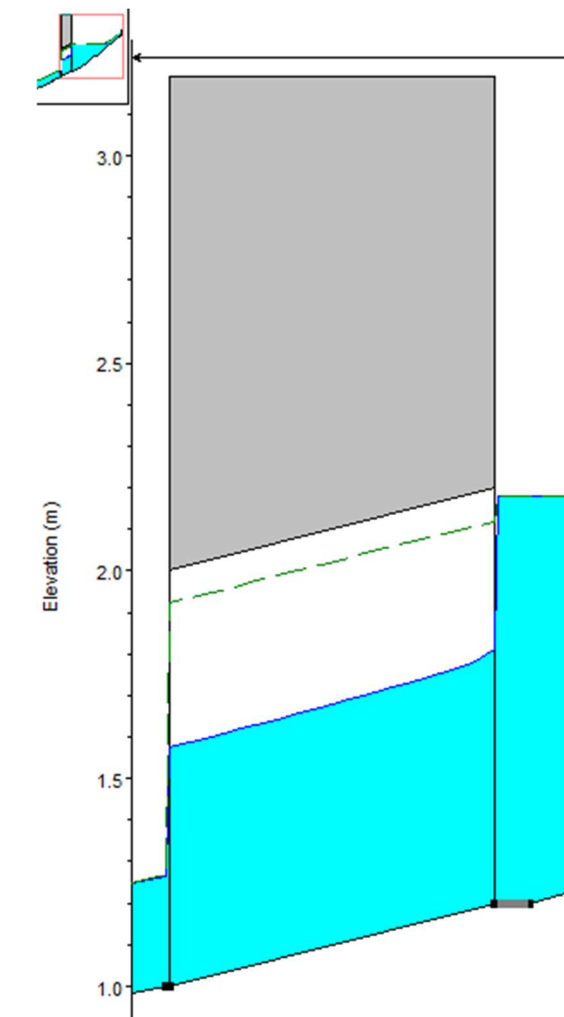


Figura 17: Detalle de las elevaciones de agua en la ODT-3. Fuente: HEC-RAS.

Se puede apreciar como si se cumple con la sobrelevación máxima exigida, siendo esta de 0,5 metros, frente a los 0,4 metros que genera la obra. También, se cumple con la máxima elevación en este caso de 1,2 metros exigidos, disponiendo en la obra de 1 metro de elevación. Además, se puede apreciar el funcionamiento con control de entrada. Por tanto, se da como solución válida la obra de drenaje actual.

Ahora para la ODT-4, se dispone de una obra de paso de hormigón de 1,8 metros de alto por 0,7 metros de largo, con una longitud de 18,5 metros y una pendiente de 0,0973. Se ha utilizado el Caudal de retorno para  $T=100$ , que es de  $1,04\text{m}^3/\text{s}$ . En la figura 18 se muestra la sección para los datos dados:

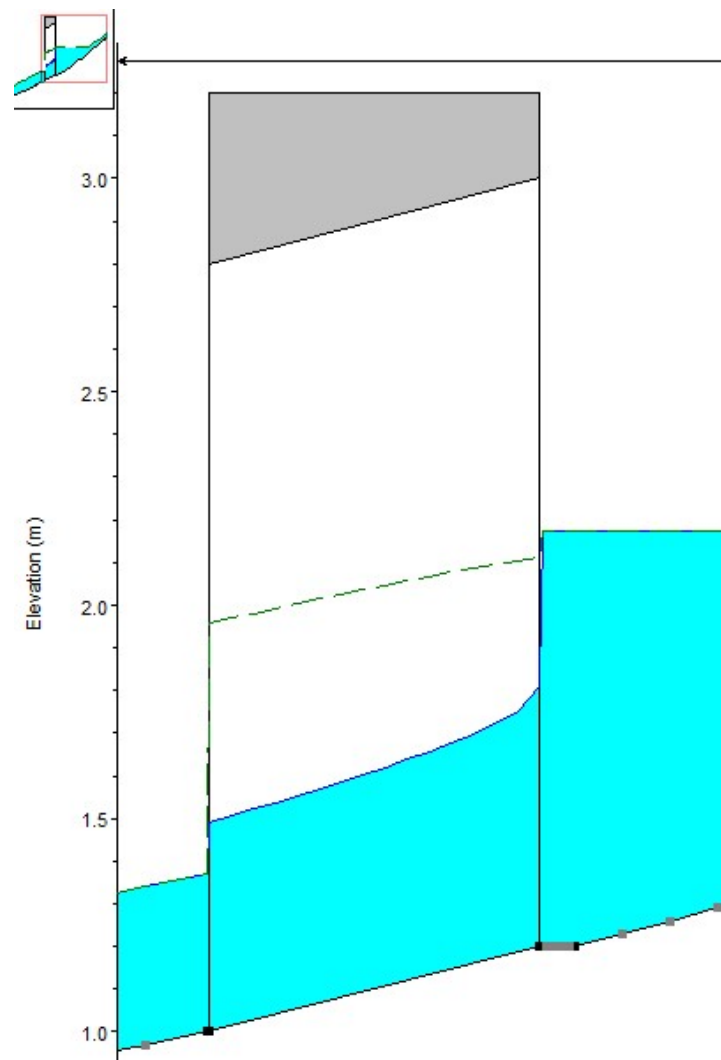


Figura 18: Detalle de las elevaciones de agua en la ODT-4. Fuente: HEC-RAS.

Se puede apreciar cómo se cumple con la sobrelevación máxima exigida, al disponerse de una sobrelevación de unos 0,4 metros frente a los 0,5 exigidos por la norma. Con respecto a la altura máxima, que en este caso es de 2,16 metros, si se cumple, al ser esta de un 1 metro para la ODT-4. Por tanto, se da obra de paso como válida.

Para la ODT-5, y la ODT-6, dado que ambas son de nueva construcción, se pretende, ejecutar ambas con 2 marcos de hormigón prefabricado de 1,2x1,2 metros. No obstante, se procede a calcular para el caso más desfavorable, en este caso la ODT-6, que deberá de dar salida al caudal recibido por la ODT-5, más el que se sume en la cuenca ODT-6, disponiéndose un caudal total de retorno para T=100 de 4.60 m<sup>3</sup>/s. Se dispone con una longitud de 34 metros y una pendiente de 0,05. En la figura 18 se muestran la sección.

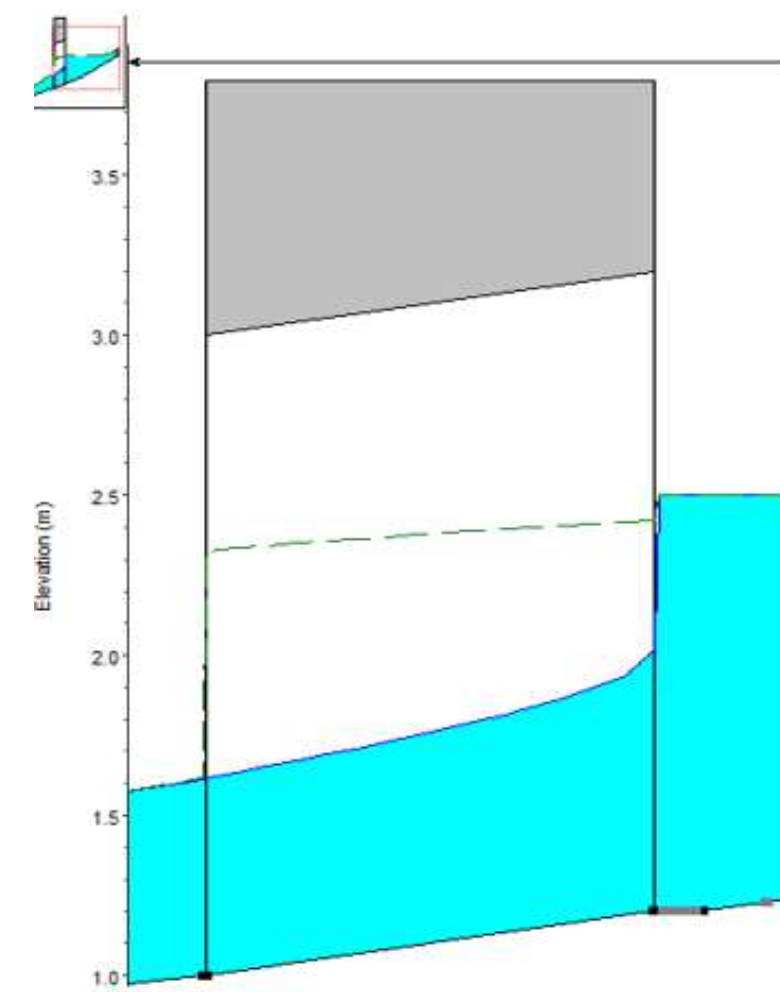


Figura 19: Detalle de las elevaciones de agua en la ODT-6. Fuente: HEC-RAS.

Se puede apreciar cómo se cumple con la sobrelevación máxima exigida, al disponerse de una sobrelevación algo menor a 0,5 metros frente a los 0,5 exigidos por la norma. Con respecto a la altura máxima, que en este caso es de 2,2 metros, si se cumple, al ser esta de un 2,4 metro para la ODT-6. Por tanto, se da obra de paso como válida tanto para la ODT-6 como para la ODT-5, disponiéndose en esta ultima un caudal menor y quedándose del lado de la seguridad.

#### 10.5.1.2. ODT-0

Esta obra de paso es la más importante, al encontrarse en el cauce de la rambla de Calarreona. Un mal funcionamiento, es decir que no evacuase de manera correcta el agua de dicha rambla, tendría resultados desastrosos. Por ello, el cálculo hidráulico realizado mediante HEC-RAS, es más profundo que para las otras obras de paso.



Así, para modelizar esta obra, en primer lugar, se ha procedido a diseñar el terreno, tomando 50 metros antes de la obra y 40 metros después, y realizando 6 cortes longitudinales y perpendiculares a la obra de paso, 4 antes y 2 después de esta, definiendo así la forma y la cota de estos. La zona que se ha modelizado se puede apreciar en la figura 20.

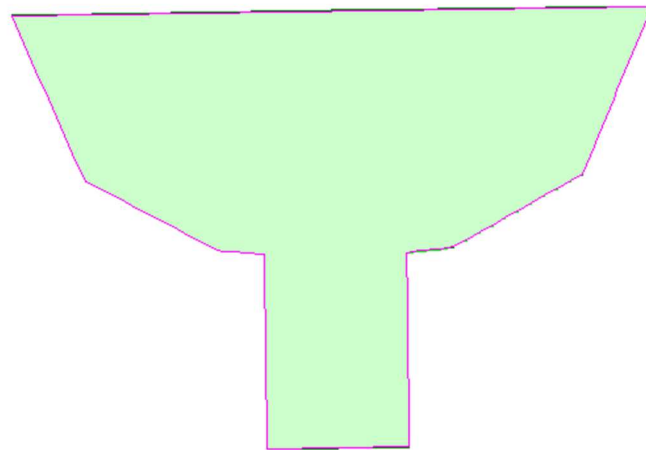


Figura 20: Vista en planta del terreno. Fuente: HEC-RAS.

Para el terreno aguas arriba de la obra, dado el grado de vegetación que se tiene con tramos con mucha maleza, y la irregularidad superficial, con hoyos y charcos profundos, se ha estimado un número de Manning con un valor de  $0,1 \text{ s m}^{-1/3}$ . Para la zona de aguas abajo, se ha estimado en  $0,07 \text{ s m}^{-1/3}$ , dado que el grado de vegetación es menor. Todo ello de acuerdo con el Capítulo 3 del manual de HEC-RAS.

Ahora, con respecto a la obra de drenaje, se dispone una sección con un canto superior de 50 centímetros y 3 vanos o secciones de 8 metros de ancho y 1,8 metros de alto. La pendiente de la obra se estima en 0,0194. Para el número de Manning de la obra, se ha utilizado un valor de  $0,015 \text{ s m}^{-1/3}$  correspondiente a hormigón. El caudal que debe de drenar para  $T=100$  es de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , como antes se comentaba y las condiciones de contorno que se han utilizado para el modelo hidráulico son, de aguas arriba se dispone el calado normal, con una pendiente conocida de  $S=0,0164$  y aguas abajo, el calado normal también, con una pendiente conocida de 0,0286. Así, en la figura 21 se muestra el modelo generado.

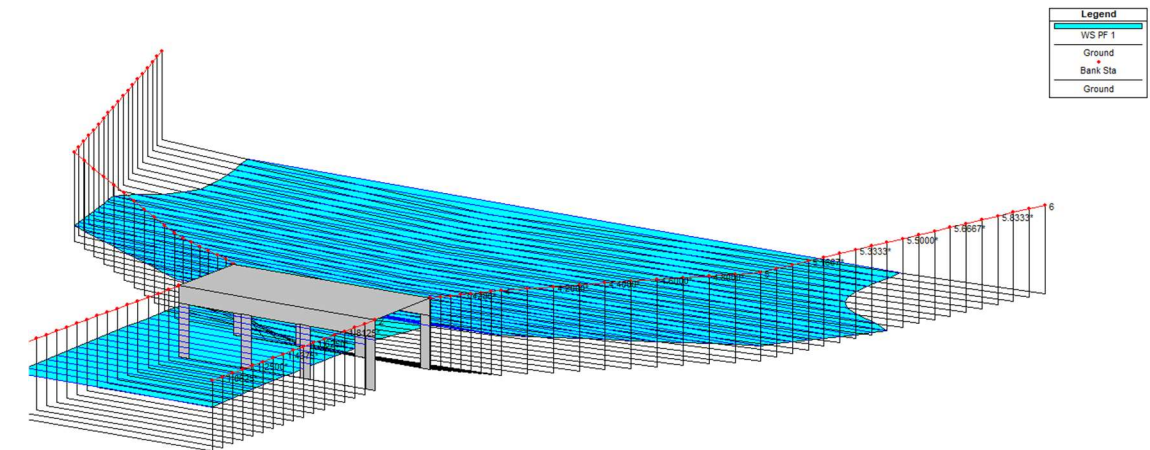


Figura 21: Vista en 3D del modelo. Fuente: HEC-RAS.

Para este modelo, se ha obtenido un perfil longitudinal, que se da a continuación. También, se ha procedido a obtener un informe de HEC-RAS que se da en los apéndices de Anejo de Estudio Hidráulico, así como también las distintas secciones que se dan a lo largo del modelo. En la Figura 22, se muestra el perfil obtenido.

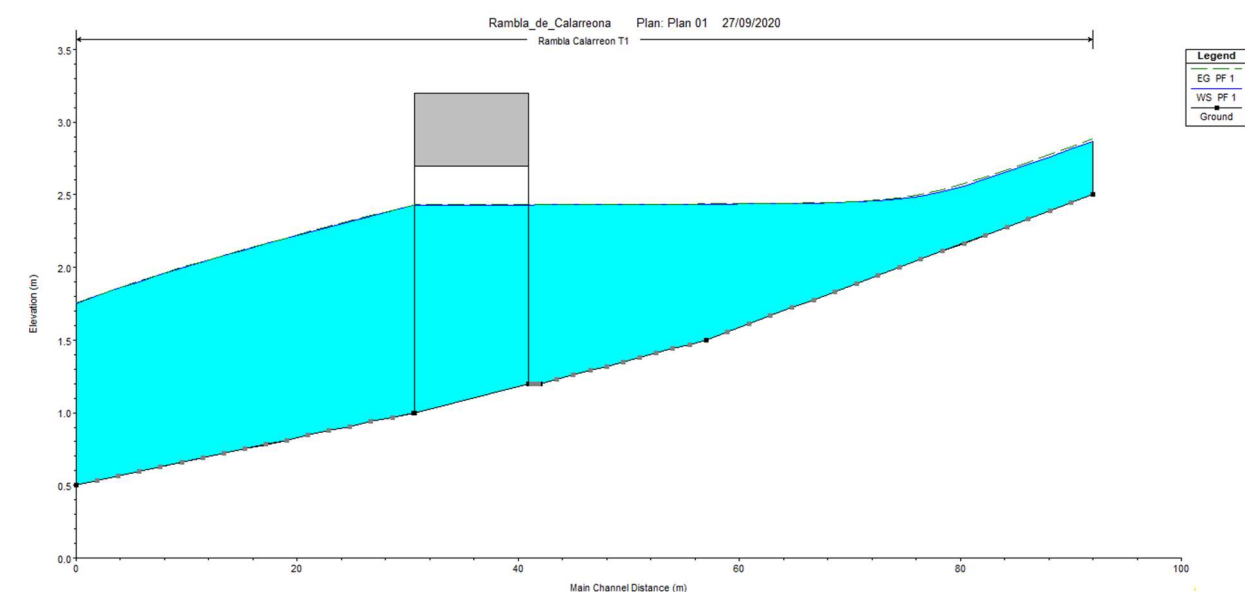


Figura 22: Perfil del modelo. Fuente: HEC-RAS.

Se puede apreciar que el agua no sobrepasa la obra, dejando un resguardo de unos 30 centímetros, por ello, el comportamiento del agua en la obra para el periodo de retorno 100 años es aceptable, y no habrá que realizar modificaciones.

## 11. SEÑALIZACIÓN Y BALIZAMIENTO

### 11.1. Señalización vertical

La señalización vertical sirve para aumentar la seguridad, eficacia y comodidad de la circulación. Por ello, debe ser clara, sencilla y uniforme. Para carreteras convencionales, se debe disponer señales retrorreflectantes de clase RA2, y en zonas donde se dificulte la percepción de estas, una Clase RA3. Con respecto a señales de contenido fijo, deben ser vistas desde un vehículo en movimiento, por ello, sus medidas deben ser las indicadas en la Figura 23.

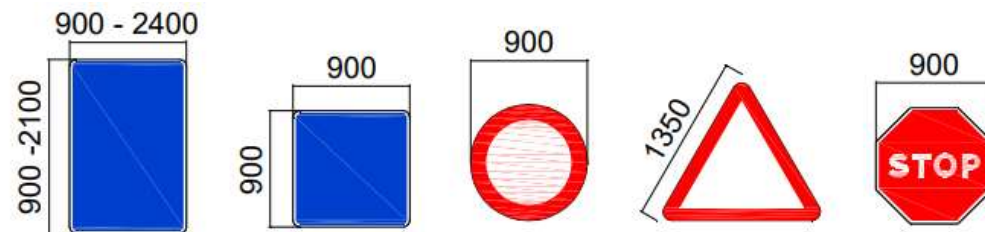


Figura 23: Dimensiones de la señalización vertical. Fuente: Norma 8.1-IC.

En cuanto a su posicionamiento longitudinal, las señales de contenido fijo se colocarán a un mínimo de 50 metros para su correcta interpretación. Las señales de reglamentación se dispondrán en el punto en el que inicia su aplicación y las señales de advertencia de peligro, se colocarán entre 150 y 200 metros antes del peligro que anuncian.

Para el posicionamiento transversal, las de contenido fijo se colocarán en el margen derecho, pudiendo colocarse en el izquierdo, si la visibilidad de la vía lo requiere.

Respecto a la altura de las señales o carteles, excepto para los carteles flecha, será 1,8 metros y se girarán ligeramente hacia fuera con un ángulo de 3º respecto de la normal.

No obstante, para la señalización específica dispuesta, se tiene la velocidad máxima, con una señal R-301, la señal de adelantamiento prohibido y permitido, señal R-305. En intersecciones se dispondrá una R-2 en la línea de detención, siendo esta una marca M-4.1, además se colocará un preaviso a 150 metros mediante una señal R-1 y el panel complementario de distancia S-840. En vías no debidamente pavimentadas, será necesario colocar señales verticales tipo R-2.

### 11.2. Señalización horizontal

La señalización horizontal sirve para aumentar la seguridad, eficacia y comodidad de la circulación de los usuarios a lo largo de la vía.

En primer lugar, se ha realizado una regulación del adelantamiento conforme a lo dispuesto en la Norma 3.1-IC (Ministerio de Fomento, 2016). En este sentido, para permitir el adelantamiento es necesario disponer de una visibilidad de adelantamiento de 220 metros, y para prohibirlo de 100 metros. Por ello, con lo obtenido en el estudio de visibilidades para la alternativa seleccionada (Figura 24), se regula el adelantamiento de manera que se permite adelantar en los P.K.s siguientes:

- Sentido Creciente:
  - Del P.K. 0+000 al P.K. 0+670
  - Del P.K. 1+000 al P.K. 1+360
- Sentido Decreciente:
  - Del P.K. 1+292.67 al P.K. 1+052.67
  - Del P.K. 0+442.67 al P.K. 0+102.67

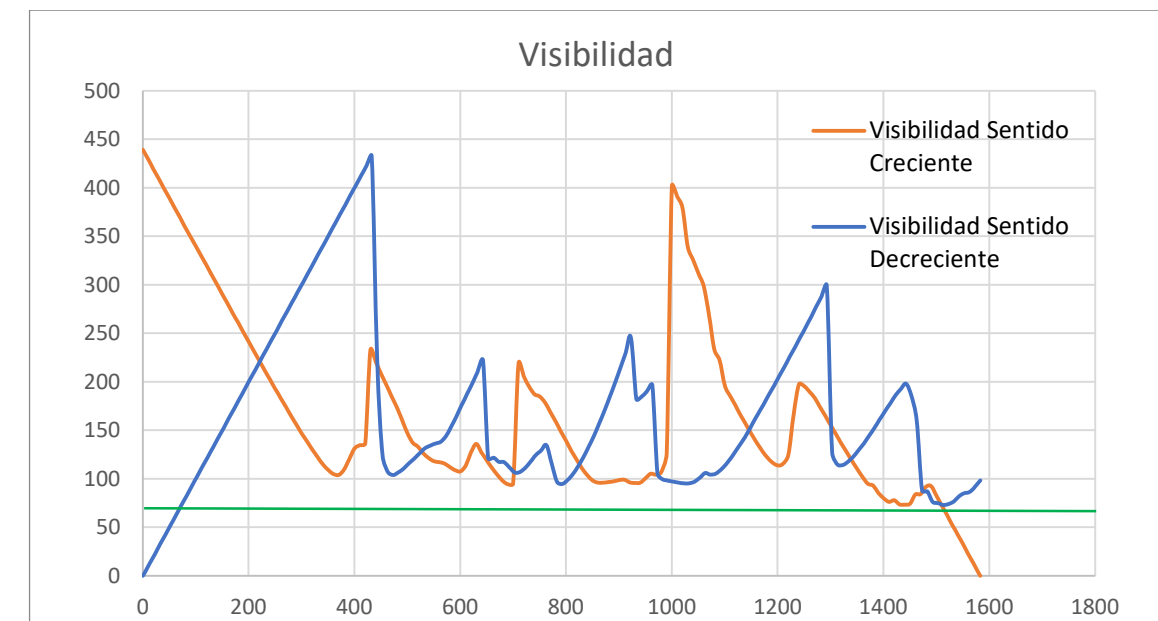


Figura 24: Distancia de visibilidad. Fuente: Propia.

Las líneas de borde de calzada serán blancas del tipo M-2.6, excepto en intersecciones, que se dispondrán las del tipo M-1.12. Para las líneas de separación de carriles se utilizarán marcas del tipo M-2.2. La señalización horizontal transversal en los puntos de vías secundarias que intersecan con el tramo acondicionada se dispondrá de marcas M-6.4.

### 11.3. Balizamiento

En cuanto al balizamiento, se dispondrá de un sistema óptico continuo de guía con el fin de mejorar la visibilidad de noche o en situaciones adversas, que se complementa con la señalización horizontal de borde. Particularmente, se contará con los siguientes elementos de balizamiento:

- Captafaros: Distinguir a gran distancia las variaciones en la calzada, tanto las altimétricas como planimétricas, cada 10 metros en recta y 3 metros en curva. En barreras de seguridad, se colocarán en la unión de los tramos de esta.

- Hitos de arista: Se instalará en los bordes de la plataforma durante todo el trazado, señalizando el mismo cada 50 metros.

- Paneles de curva: Señalizan el sentido de giro cuando se produce una importante disminución en la velocidad, se dispondrán en curvas con decrementos mayores de 15 km/h.

#### 11.4. Barreras de seguridad

Las barreras de seguridad son los dispositivos instalados en los márgenes de las carreteras y utilizados para asegurar cierto nivel de contención para vehículos fuera de control. Concretamente, en este tramo se necesita un nivel de contención H1 – N2 y, por tanto, se puede seleccionar una BMSNA2/C. Los criterios de selección de este tipo de barrera se pueden consultar en el Anejo de Señalización.

#### 11.5. Disposición de señalización

En la tabla 29 y 30 se expone la distribución de la señalización a lo largo del acondicionamiento de la RM-333. Para ello, en la Tabla 26 y Tabla 27 se especifica en función del P.K. la señalización horizontal y vertical, así como también el balizamiento y los elementos de defensa, tanto para el sentido creciente como decreciente, respectivamente.

Sentido Creciente		
	TIPO	P.K.s
SEÑA. VERTICAL	R-301	0+050
	R-302	A cada lado: 0+670 y 1+360
	R-502	Comienzo y 1+000
SEÑA. HORIZONT	L.Borde M2.6	Todo el recorrido
	L.Separa Discontinua M1.3	Comienzo al 0+670 1+000 al 1+360
	L.Separa Continua M2.2	0+670 al 1+000 1+360 al Final
BALIZAMI	Captafaros	Cada 10m en recta y cada 3m en curva
	Hitos	Cada 50 metros
BARRERAS	BMSNA2/C	0+038,5 al 0+156,5 0+400 al 0+575 0+690 al 0+760 0+960 al 1+099 1+180 al Final

Tabla 29: Disposición en sentido creciente. Fuente: Propia.



Sentido Decreciente		
	TIPO	P.K.s
SEÑA. VERTICAL	R-301	1+530
	R-302	A cada lado: 1+ 520, 0+102
	R-502	1+292 y 0+442
SEÑA. HORIZONT	L.Borde M2.6	Todo el recorrido
	L.Separa Discontinua M1.3	1+292 al 1+052 0+442 al 0+102
	L.Separa Continua M2.2	Final al 1+292 1+052 al 0+442 0+102 al Comienzo
BALIZAMI	Captafaros	Cada 10m en recta y cada 3m en curva
	Hitos	Cada 50 metros
BARRERAS	BMSNA2/C	FINAL al 1+180 1+099 al 0+960 0+750 al 0+690 0+156,5 al 0+038,5

Tabla 30 Disposición en sentido decreciente. Fuente: Propia.

## 12. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La relación principal de este estudio de acondicionamiento del tramo de carretera de la RM-333 entre el P.K. 3+910 y P-K- 5+474 con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se centra en la Salud y Bienestar (ODS 3), la Industria, innovación e infraestructuras (ODS 9) y las Ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11).

En primer lugar, con respecto a la Salud y Bienestar, este ODS se basa en garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades es esencial para el desarrollo sostenible. Para conseguir esto, se fijan unas metas, y en concreto la meta número 6, se basa en reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo, lo cual está directamente relacionada con este estudio, dado que uno de los principales objetivos de este ha sido mejorar la seguridad vial. De hecho, la solución desarrollada permite reducir las víctimas por accidentes en esta vía.

En segundo lugar, la relación con el ODS 9 de industria, innovación e infraestructuras se basa principalmente en la primera meta de este, que es desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de

calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.

Se entiende que la infraestructura proyectada cumple con esta primera meta. En este sentido, se hace referencia al término resiliencia. El clima extremo y los desastres naturales son dos de los riesgos más probables y de mayor impacto que se esperan en la infraestructura. Por tanto, dado los dimensionamientos que se han realizado, con los datos actuales de dichos fenómenos, se prevé que la infraestructura sea resiliente ante ellos.

En tercer lugar, la relación del estudio de acondicionamiento con el ODT 11 de Ciudades y comunidades sostenibles se centra en su primera meta, que indica que se debe asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales. Entendiendo como servicio básico una infraestructura vial, en este caso, este estudio se basa en hacer este servicio más adecuado y seguro.

También, respecto a la meta 11 de este ODS, que indica que se debe de apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional, se asume que esta infraestructura mejorará la actual relación social y ambiental entre la zona urbana y las zonas de playa en la zona del estudio.

Por último, respecto a la segunda meta de este objetivo, que se basa en proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, se entiende que, al mejorarse la seguridad vial del tramo, el transporte público que circule por la zona será más seguro.

## 13. EXPROPIACIONES

Con relación a las expropiaciones necesarias para realizar el acondicionamiento dispuesto en el presente estudio, conforme dispone la Ley 2/2008, de 21 de abril, de carreteras de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia: “La aprobación de los proyectos de carreteras incluidos en el ámbito de aplicación de esta Ley implicará la declaración de utilidad pública y la necesidad de urgente ocupación de los bienes y adquisición de los derechos correspondientes, a los fines de expropiación, de ocupación temporal o de imposición o modificación de servidumbres”. De este modo, la Tabla 31 recoge las propiedades privadas afectadas con su correspondiente referencia catastral.

REFERENCIA CATASTRAL	LOCALIZACIÓN	CLASE	USO PRINCIPAL	SUP. CONSTRUIDA	EXPROPIACIÓN
30003A022000480000XS	Polígono 22 Parcela 48. CAÑADA BRUSCA. AGUILAS (MURCIA)	Rústico	Agrario	No	Aprox. 2000 m2
30003A022000630000XQ	Polígono 22 Parcela 63. CAÑADA BRUSCA. AGUILAS (MURCIA)	Rústico	Agrario	No	Aprox. 7000 m2
30003A022000740000XR	Polígono 22 Parcela 74. CAÑADA BRUSCA. AGUILAS (MURCIA)	Rústico	Agrario	198 m2 Año 1982	Aprox. 100000 m2

Tabla 31: Expropiaciones. Fuente: Propia.

## 14. RESUMEN DEL PRESUPUESTO ESTIMADO

CAPÍTULO	RESUMEN	EUROS (€)
CAP 1	ACTUACIONES PREVIAS Y DEMOLICIONES.....	23,772.97
CAP 2	MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	45,098.59
CAP 3	DRENAJE.....	58,203.17
CAP 4	FIRMES Y PAVIMENTOS.....	98,673.16
CAP 5	SEÑALIZACIÓN.....	42,637.84
CAP 6	DESVIOS.....	15,000.00
CAP 7	GESTIÓN DE RESIDUOS.....	10,000.00
CAP 8	SEGURIDAD Y SALUD.....	12,500.00
<b>TOTAL DE EJECUCIÓN DE MATERIAL</b>		<b>305,885.74</b>
13.00% Gastos Generales.....		39,765.15
6.00% Beneficio industrial.....		18,353.14
<b>SUMA DE G.G Y B.I</b>		<b>58,118.29</b>
<b>TOTAL DE PRESUPUESTO SIN I.V.A.</b>		<b>364,004.03</b>
21.00% I.V.A.....		76,440.85
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)</b>		<b>440,444.88</b>

Asciende el presupuesto base de licitación a la expresada cantidad de SEISCIENTOS SIETE MIL CINCUETA Y SIETA EUROS CON DOS CÉNTIMOS

Valencia, Septiembre 2020

Fdo. Cristian González Padilla



## 15. CONCLUSIÓN

Mediante el presente documento, “Estudio de acondicionamiento de la RM-333 entre el P.K. 3+910 y el P.K. 5+474 en el término Municipal de Águilas (Murcia)”, se pretende dar una respuesta a las deficiencias de trazado en planta que presenta la vía actualmente, así como mejorar la seguridad vial, teniendo en cuenta los condicionantes ambientales de la zona y proporcionando a los usuarios mayor seguridad y confort en los desplazamientos. Por tanto, con todo lo desarrollado en este documento y en los anejos y planos, se dan por conseguidos los objetivos propuestos para el mismo.

Valencia, a 30 de noviembre de 2020

Fdo. Cristian González Padilla



## 16. REFERENCIAS

Camacho-Torregrosa, F. J., Pérez-Zuriaga, A. M., Campoy-Ungría, J. M., & García-García, A. (2013). New geometric design consistency model based on operating speed profiles for road safety evaluation. Accident Analysis & Prevention, 61, 33-42.

EPI Balear. (2020). Captafaros en barreras de seguridad [Image]. Recuperado de <http://www.epibalea.es/Producto.aspx?Noticia=8826>

Lamm, R., Choueiri, E., Hayward, J., & Paluri, A. (1988). Possible design procedure to promote design consistency in highway geometric design on two-lane rural roads. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1195).

MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección General de Carreteras. Criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas. Orden Circular 28/2009.

MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección General de Carreteras. Drenaje superficial. Instrucción de Carreteras. Norma 5.2. IC. B.O.E. núm 60. 15 de diciembre de 2016.

Tecnivial. (2016). Hito de arista [Imagen]. Recuperado de <https://www.tecnivial.es/hito-de-arista-con-flexor1/>

MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección General de Carreteras. Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes de la Dirección General de Carreteras (PG-3). Orden de Fomento 891/04.

MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección General de Carreteras. Rehabilitación de firmes. Instrucción de Carreteras. Norma 6.3. IC. B.O.E. núm 297. 12 de diciembre de 2003.

MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección General de Carreteras. Secciones de firme. Instrucción de Carreteras. Norma 6.1. IC. B.O.E. núm. 297. 12 de diciembre de 2003.

MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección General de Carreteras. Señalización vertical. Instrucción de Carreteras. Norma 8.1. IC. B.O.E. núm. 83. 5 de abril de 2014.

MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección General de Carreteras. Trazado. Instrucción de Carreteras. Norma 3.1. IC. B.O.E. núm 55, 4 de marzo de 2016.

MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección General Del Instituto Geográfico Nacional. Norma de Construcción Sísmorresistente: Puentes (NCSP-07). B.O.E. núm 132. 2 de junio de 2007.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (1992). Catálogo y significado de las señales. Dirección General de Carreteras del Estado.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (1987). Norma 8.2. Instrucción de Carreteras: marcas viales. B.O.E. núm. 185. 4 de agosto de 1987.

Perez Zuriaga, A. M., Garcia Garcia, A., Camacho-Torregrosa, F. J., & D'Attoma, P. (2010). Modeling operating speed and deceleration on two-lane rural roads with global positioning system data. Transportation Research Record, 2171, 11-20.

t2siberica. (2020). Captafaros de pavimento [Imagen]. Recuperado de <http://www.t2siberica.com/captafaros-para-barrera-bionda/>